Zur Kenntnis der Bildungsweise des Flözes Katharina im niederrheinisch-westfälischen Steinkohlenbecken

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Freien Universität Berlin

Vorgelegt von

Diplom-Geologen Claus Diessel

aus Stendal

1962.

1. Gutachter: Prof. Dr. Max Richter

2. Gutachter: Prof. Dr. K. R. Mehnert

Sondergutachter: Prof. Dr. M.-Th. Mackowsky

Tag der mündlichen Prüfung: 31. Januar 1961

Tag der Promotion: 28. Feb. 1962

Die Arbeit wurde in den Jahren 1959 und 1960 in der mineralogisch-petrographischen Abteilung der Bergbauforschung GmbH. in Essen angefertigt. Für großzügige Unterstützung, sowie wissenschaftliche Betreuung danke ich dem Geschäftsführer der Bergbau-Forschung GmbH., Herrn Dr. W. Reerink, und der Leiterin der mineralogisch-petrographischen Abteilung, Frau Prof. Dr. M.-Th. Mackowsky.

Weiterhin möchte ich meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. M. Richter, Direktor des Geologisch-Paläontologischen Institutes der Freien Universität Berlin, für das Interesse danken, daß er dieser Arbeit entgegenbrachte.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Zur Kenntnis der Bildungsweise des Flözes Katharina im niederrheinisch-westfälischen Steinkohlenbecken

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Freien Universität Berlin

Vorgelegt von

Diplom-Geologen Claus Diessel

aus Stendal

Lebenslauf

Am 29. Dezember 1931 wurde ich, Claus Franz Karl Diessel, in Stendal als Sohn des Kaufmanns Heinrich Diessel und seiner Ehefrau Anna, geb. Speckhahn, geboren.

Nach einer vierjährigen Grundschulzeit kam ich im Jahre 1942 auf die Winckelmann-Oberschule in Stendal, an der ich 1950 die Reifeprüfung ablegte. Nach einer achtmonatigen Bergmannstätigkeit im Uranbergbau des Erzgebirges nahm ich zum Wintersemester 1951 das Geologiestudium an der Humboldt-Universität Berlin auf. Seit dem Sommersemester 1954 setzte ich mein Studium an der Freien Universität Berlin fort, wo ich im Juli 1957 die Diplom-Vorprüfung bestand. Im Mai 1959 legte ich die Diplom-Prüfung mit einer Arbeit über die tektonischen und petrographischen Verhältnisse am Ostrand des Velberter Sattels im Bergischen Land ab. Anschließend trat ich in die Petrographisch-Mineralogische Abteilung der Bergbau-Forschung GmbH. in Essen als wissenschaftlicher Mitarbeiter ein, wo ich unter der Leitung von Frau Prof. Dr. M.-Th. Mackowsky die vorliegende Dissertation anfertigte.

Meine Lehrer waren Prof. Dr. S. von Bubnoff und Prof. Dr. M. Richter in Geologie, Prof. Dr. W. Gross, Prof. Dr. W. Gothan und Dr. W. G. Kühne in Paläontologie sowie Prof. Dr. M.-Th. Mackowsky und Prof. Dr. K. R. Mehnert in Mineralogie und Petrographie.

Zur Kenntnis der Bildungsweise des Flözes Katharina im niederrheinisch-westfälischen Steinkohlenbecken

Von Diplom-Geologen Claus Diessel, Essen*

Einleitung

Die ständig steigenden Anforderungen der einschlägigen Industriezweige an den Rohstoff Kohle haben der angewandten Kohlenpetrographie in den letzten Jahrzehnten einen großen Aufschwung gebracht. Die Untersuchungsverfahren wurden ständig verfeinert und lieferten viele Erkenntnisse, die auch der reinen Forschung zugute kamen. So konnten gerade von der Kohlenpetrographie zahlreiche Fragen der Kohlenentstehung im Ruhrkarbon beantwortet werden. Die stark wechselnden Verhältnisse innerhalb der Lagerstätte ließen jedoch nur selten detaillierte Untersuchungen im größeren Rahmen zu, so daß im Hinblick auf genetische Probleme häufig nur Teilergebnisse bekannt wurden. Es erschien daher zur Klärung genetischer Fragen wünschenswert, mit Hilfe vielseitiger und der besonderen Fragestellung angepaßter Untersuchungen ein möglichst umfassendes Bild vom Gefügeaufbau einiger Flözschnittsäulen zu erhalten. Über den rein kohlenmikroskopischen Charakter der Untersuchungen hinausgehend war es auch erforderlich, den Mineralgehalt der Kohle und den des hangenden Nebengesteins zu berücksichtigen, weil der biologische Prozeß, der sich bei der Bildung eines Torfmoores vollzieht, in enger Abhängigkeit von den Umweltbedingungen steht und deswegen jede Betrachtung, die nur den organischen oder anorganischen Inhalt eines Kohlenflözes erfaßt, unvollständig wäre.

Die allgemeinen Züge der Kohlenentstehung der niederrheinisch-westfälischen Steinkohlenlagerstätte können als bekannt vorausgesetzt werden. In diesem Zusammenhang sei lediglich auf das einschlägige Schrifttum, vor allem auf die Arbeiten [1][1] bis [22], verwiesen.

Von den zur Zeit bauwürdigen Flözen sind einige wegen ihrer sogenannten marinen Beeinflussung durch eine nachfolgende Meerestransgression genetisch besonders interessant, da sie in ihren Eigenschaften von den anderen abweichen. Da das Flöz Katharina über die gesamte Lagerstätte gut parallelisiert ist und der Inkohlungsgrad für die geplanten kohlenpetrographischen Analysen nicht zu hoch war, wurden aus diesem Flöz drei Proben für die Untersuchungen ausgewählt.

Die Probennahme

In Abb. 1 sind die Schachtanlagen verzeichnet, auf denen die Proben genommen wurden. Die Probennahmestellen sind

Zeche Friedrich-Heinrich in Kamp-Lintfort

600-m-Sohle, Richtquerschlag Ost, 3. Blindschacht, Kohlenabfuhrstrecke in Flöz Hermann-Gustav nach Süden.

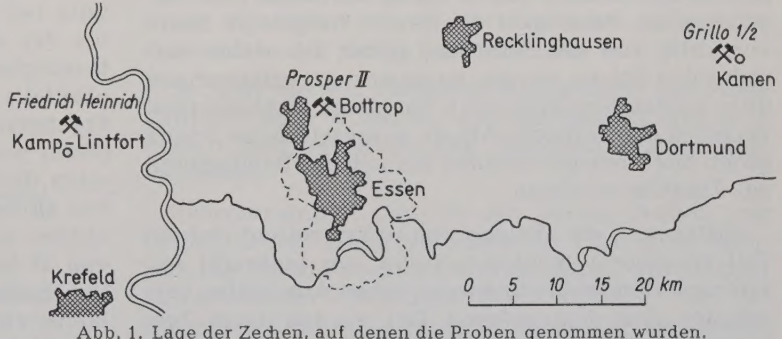


Abb. 1. Lage der Zechen, auf denen die Proben genommen wurden.

Zeche Prosper II in Bottrop

7. Teilsohle, 4. nordwestliche Abteilung, rd. 50 m östlich vom Rundgesenk, 20 m südlich der Grundstrecke.

Schachtanlage Grillo 1/2 in Kamen

5. Sohle, 9. östliche Abteilung, Querschlag nach Norden.

Für die weitere Bezeichnung der Proben werden die Zechennamen verwendet.

Zu den wichtigsten Voraussetzungen für die Untersuchungen gehört eine sehr sorgfältige Probennahme. Bei der Auswahl einer geeigneten Stelle ist darauf zu

---

* Gekürzte Fassung der von der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Freien Universität Berlin 1960 genehmigten Dissertation. Die Arbeit ist in den Jahren 1959 und 1960 in der mineralogisch-petrographischen Abteilung der Bergbauforschung GmbH., Essen-Kray, angefertigt worden. Für großzügige Unterstützung sowie wissenschaftliche Betreuung danke ich dem Geschäftsführer der Bergbau-Forschung GmbH., Dr. W. Reerink, und der Leiterin der mineralogisch-petrographischen Abteilung, Frau Professor Dr. M.-Th. Mackowsky. Weiterhin möchte ich meinem verehrten Lehrer, Professor Dr. M. Richter, Direktor des Geologisch-Paläontologischen Institutes der Freien Universität Berlin, für das Interesse danken, daß er dieser Arbeit entgegengebracht hat.

[1] Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf das Schrifttumsverzeichnis am Schluß des Aufsatzes.

achten, daß Kohle und Nebengestein möglichst wenig tektonisch beansprucht sind. Es darf nur frisches Material verwendet werden. Steht daher ein Aufschluß schon lange offen, muß entsprechend den örtlichen Verhältnissen mindestens bis zu einem halben Meter Kohle vor Beginn der Aufnahme entfernt werden.

Auf den Erfahrungen von JURANEK [23] aufbauend hat sich folgendes Vorgehen bewährt:

Nachdem der Aufschluß gesäubert ist, wird zunächst ein makroskopischer Flözschnitt aufgenommen. Diese Aufnahme dient dazu, bei einer Beschädigung der Proben auf dem Transport die richtige Reihenfolge wiederzufinden.

Zur Gewinnung einer Säulenprobe ist das Flöz Katharina gut geeignet, da seine Mächtigkeit nur selten 1 m überschreitet, so daß man es häufig in zwei, höchstens aber in drei oder vier Stücken gewinnen kann. Dabei ist der Mangel an durchgehenden Fusitlagen, die bevorzugte Ablösungsflächen bilden, vorteilhaft.

Mit dem Abbauhammer werden zwei rd. 20 cm tiefe Kerben im Abstand von 30 bis 40 cm in das Flöz eingeschnitten. Dann wird die soweit freigelegte Säule vorsichtig von der Seite her gelöst. Die dabei entstehenden Stücke werden ausgemessen, entsprechend ihrer Reihenfolge numeriert, mit einem Richtungspfeil versehen und verpackt. Als ein ausgezeichneter Schutz gegen alle Transportschäden hat sich das Bandagieren mit Tesafilm erwiesen.

Später wird die Säulenprobe weiter zerlegt und ein Teil zu einer lückenlosen Reihe von senkrecht zur Sedimentationsrichtung geschnittenen Anschliffen verarbeitet. Aus dem anderen Teil werden durch Zerkleinern und Vierteln Durchschnittsproben hergestellt.

Untersuchungen an Kohlendurchschnittsproben

Die Untersuchungsmethoden

1. Die Kurz- und die Elementaranalysen wurden nach den „Laboratoriumsvorschriften für den Steinkohlenbergbau" [24] durchgeführt. In der Zahlentafel 1 sind die Werte für Rohkohle (roh), wasserfreie (wf) und wasser- und aschefreie (waf) Substanz getrennt aufgeführt.

2. Mikroskopische kohlenpetrographische Analysen am Feinkornschliff lassen einen raschen Gesamtüberblick über den Gehalt an Mazeralen und Mikrolithotypen einer Flözdurchschnittsprobe zu.

Die Analysen nach Mikrolithotypen entsprechen den Richtlinien des Internationalen Wörterbuches für Kohlenpetrologie [25]. Zur Analyse ist das „20-Punkte-Okular" nach KÖTTER [26] benutzt worden, wobei je Schliff 1000 Punkte ausgewertet wurden.

Die Mazeralanalyse wurde ebenfalls mit einem Point-Counter durchgeführt, wobei eine Strichplatte mit einem sehr feinen Fadenkreuz verwendet wird, damit sehr kleine Mazerale, wie etwa feinkörniger Mikrinit, nicht verdeckt werden. Es sind stets 1000 Punkte ausgewertet worden.

Kurzanalysen und Elementarzusammensetzung

Die in der Zahlentafel 1 zusammengestellten Ergebnisse lassen zum Teil erhebliche Unterschiede erkennen. Von den Werten der Kurzanalyse interessieren hier besonders die Flüchtigen Bestandteile (Fl. B.), die stark voneinander abweichen. Danach ist das Flöz Katharina auf der Zeche Friedrich Heinrich als mittlere Gaskohle, auf Prosper II als untere bis mittlere Fettkohle und auf Grillo 1/2 im unteren Flözteil als untere Gaskohle und im oberen Teil als Flammkohle entwickelt. Allerdings werden die Flüchtigen Bestandteile bei 875 ± 10 °C bestimmt, einer Temperatur, bei der die an der Mineralzusammensetzung stark beteiligten Schwefel- und Karbonatverbindungen ebenfalls gasförmige Erzeugnisse abspalten und das Ergebnis daher etwas beeinflussen können. Zum Vergleich wurden daher Reflexionsmessungen an Vitriniten durchgeführt. Sie ergaben bei der Kennelkohle von Grillo 1/2 eine mittlere Reflexion des einfallenden Lichtes von 0,75 %, was einem theoretischen Gehalt von 37 bis 38 % Flüchtigen Bestandteilen entspricht[2]. Das bedeutet, daß der Inkohlungsgrad der Kennelkohle zwar höher ist, als die Kurzanalyse angibt, jedoch deutlich unter dem der dazugehörigen Humuskohle bleibt.

So liegt die mittlere Reflexion der Vitrinite der Humuskohle von Grillo 1/2 bei 0,95 = 32 bis 33 % Flüchtigen Bestandteilen. Bei den beiden anderen Proben entsprechen die aus den Reflexionsmessungen über Eichkurven ermittelten Gehalte an Flüchtigen Bestandteilen den gemessenen Werten. Im Vergleich zu den Flüchtigen Bestandteilen weisen die Werte für den Gesamtkohlenstoff in der Elementarzusammensetzung geringere Unterschiede auf.

Zahlentafel 1. Ergebnisse der Kurzanalysen und Elementarzusammensetzung der Einzelproben.

Zusammensetzung	Friedrich Heinrich			Prosper II			Grillo 1/2 (Humuskohle)			Grille 1/2 (Sapropelkohle)		
	(roh) %	(wf) %	(waf) %	(roh) %	(wf) %	(waf) %	(roh) %	(wf) %	(waf) %	(roh) %	(wf) %	(waf) %
Wasser	1,0			0,5			8,5			1,4		
Asche	7,4	7,5		19,8	19,9		4,4	4,8		17,4	17,7	
Fl. B.	29,3	29,6	32,0	18,3	18,3	22,9	26,1	28,6	30,1	36,3	36,8	44,77
Fix. C	62,3	62,9	68,0	61,5	61,8	77,1	61,0	66,6	69,9	44,9	45,5	55,3
C		78,71	85,09		66,95	83,59		79,96	83,82		64,66	78,57
H		4,84	5,23		3,71	4,63		5,23	5,48		4,80	5,83
N		1,63	1,76		1,29	1,61		1,72	1,80		1,59	1,93
S		2,94	—		7,73	—		2,28	—		7,76	—
O		4,38	4,74		0,42	0,52		6,21	6,51		3,49	4,24

[2] Die Reflexionsmessungen wurden auf photoelektrischem Wege mit Hilfe eines auf ein Mikroskop (Ortholux) gesetzten Multipliers durchgeführt. Näheres siehe bei KÖTTER [27].

Der Kohlenstoffgehalt der Probe Prosper II muß dabei als auffallend niedrig gelten, da er sich von dem der Probe Grillo 1/2 (Humuskohle) nur unwesentlich unterscheidet und noch unter dem der Probe Friedrich Heinrich liegt.

Aus der Elementaranalyse lassen sich bereits Rückschlüsse auf die Flözgenese ziehen. So konnten VAN KREVELEN und SCHUYER [28] auf Grund zahlreicher Einzeluntersuchungen an Mazeralen aus Kohlen verschiedenen Inkohlungsgrades feststellen, daß sich das Verhältnis H/C zu O/C im Laufe der Inkohlung in charakteristischer Weise ändert, wobei sich am Ende eine Angleichung der Mazerale einstellt.

In Abb. 2 ist ein Ausschnitt des von van Krevelen und Schuyer gegebenen Diagramms dargestellt, worin die entsprechenden Werte der Flözproben eingetragen sind. Dabei muß man berücksichtigen, daß ein hoher Inertinitanteil wegen des im Verhältnis größeren Sauerstoffgehaltes die Werte in den Fusinitbereich hineinverschiebt. Die Proben Friedrich Heinrich und Prosper II enthalten erheblich mehr Inertinit als Exinit (s. die Zahlentafel 2). Wenn dennoch die Werte so bestimmt über dem Fusinitband liegen, so kann das nur auf dem Überwiegen eines sehr wasserstoffreichen Vitrinites beruhen, der auf ein äußerst stark durchfeuchtetes Bildungsmilieu hinweist. Die Werte

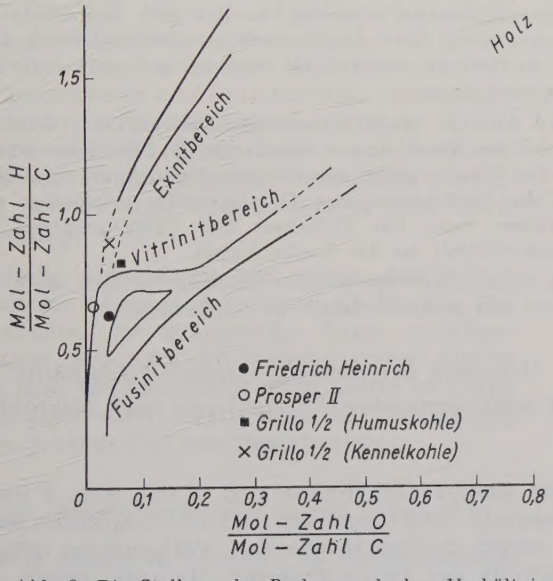


Abb. 2. Die Stellung der Proben nach dem Verhältnis H/C zu O/C in dem von VAN KREVELEN und SCHUYER entwickelten Diagramm (Ausschnitt).

der beiden Proben Grillo 1/2 liegen sogar noch über dem Vitrinitbereich. Diese Verschiebung erklärt sich daraus, daß zu dem wasserstoffreichen Vitrinit (d. h. Collinit) ein hoher Exinitgehalt kommt.

Die Verteilung der Mikrolithotypen und der Mazerale

Wie die Zahlentafel 2 zeigt, unterscheiden sich die Proben in ihrem Gehalt an Mikrolithotypen und Mazeralen. Der Grund hierfür liegt in der großen Entfernung der Entnahmestellen voneinander und im Falle der beiden Proben Grillo 1/2 in der völlig verschiedenen Ausbildung der beiden Flözteile. Dazu kommt bei der Probe Prosper II ein höherer Inkohlungsgrad, so daß der Wert für den Exinitgehalt fast nur dem Anteil an gerade noch erkennbaren Makrosporen entspricht.

Zahlentafel 2. Ergebnisse der Analysen nach Mikrolithotypen und Mazeralen.

Zusammensetzung	Anteil in der Probe			
	Friedrich Heinrich Vol.-%	Prosper II Vol -%	Grillo 1/2 (Humuskohle) Vol.-%	Grillo 1/2 (Kennelkohle) Vol.-%
Vitrit	36	43	47	17
Clarit	18	1	44	65
Zwischenstufen	21	38	5	8
Durit	10	1	—	—
Fusit	14	10	3	—
Unreine Kohle und Brandschiefer	1	7	1	10
Summe	100	100	100	100
Vitrinit	56	65	85	50
Exinit	14	1	10	31
Inertinit	26	27	4	1
Minerale	4	7	1	18
Summe	100	100	100	100

Allerdings sind auch sonst die Clarite arm an Exinit. Besonders deutlich ist das am Beispiel Grillo 1/2 (Humuskohle), wo einem Claritgehalt von 44 % nur 10 % Exinit gegenüberstehen. Wenn man von der Probe Grillo 1/2 (Sapropelkohle) zunächst einmal absieht, liegt lediglich bei der Probe Friedrich Heinrich ein höherer Exinitgehalt vor. Er entstammt jedoch nicht nur den 18 % Clarit, sondern verteilt sich auch auf den ziemlich hohen Anteil an Zwischenstufen und auf den ebenfalls exinitführenden Durit, so daß auch in der Probe Friedrich Heinrich der Clarit bis auf wenige Ausnahmen nur wenig Exinit enthält.

So führt die rein claritische Kennelkohle der Probe Grillo 1/2 nur 7 % Sporen, während die restlichen 24 % Resinit und resinitähnliche Bitumenanreicherungen darstellen.

Zwischenstufen sind in den beiden Proben von Grillo 1/2 nur mäßig vertreten, ihr Charakter wechselt. Die Probe Friedrich Heinrich enthält vorwiegend duroclaritische Zwischenstufen, während sie bei Prosper II nicht nur wegen der verminderten Erkennbarkeit und der teilweisen Korrosion der Sporen, sondern wohl auch auf Grund einer primären Sporenarmut vitrinertitisch sind. Dem entspricht auch der hohe Inertinitgehalt von 27 % bei nur 1 % Durit.

Durit erreicht nur in der Probe Friedrich Heinrich eine größere Verbreitung, in den anderen sinkt sein Anteil bis unter 1 %.

Die Fusitführung läßt ebenfalls in östlicher Richtung nach.

Der Mineralgehalt wechselt, was sich auch im Anteil an Brandschiefer und unreiner Kohle ausdrückt. Es handelt sich um Verwachsungen von Ton, Pyrit und im Falle von Grillo 1/2 (Kennelkohle) vorwiegend von Eisenspat mit Kohle.

Kohlenpetrographische Untersuchungen an Flözschnitten

Untersuchungsmethoden

Für Flözschnittuntersuchungen dienten Anschliffe, die senkrecht zur Schichtung geschnitten waren und das gesamte Säulenprofil wiedergaben.

Die Einteilung nach dem makroskopischen Flözschnitt stützte sich auf eine Zusammenfassung mehr oder weniger einheitlich erscheinender Partien, der Lithotypen. Ihre Unterscheidung wurde nach den „Richtlinien und Vorschlägen zur Anlegung eines Flözarchivs für den Steinkohlenbergbau" [29] vorgenommen.

Die Aufnahme geschah über Tage an polierten Anschliffen, deren Mindeststreifenbreite abweichend von den

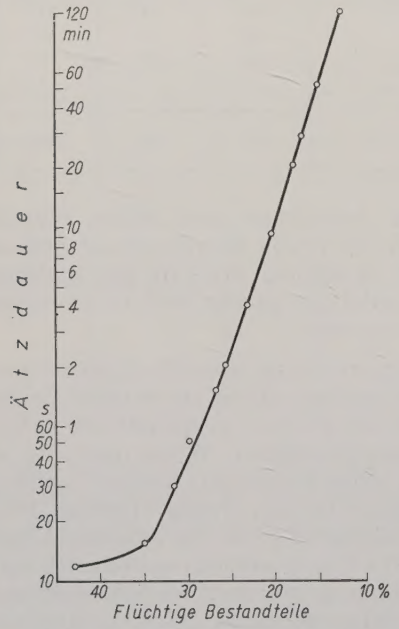


Abb. 3. Die Abhängigkeit der Ätzdauer vom Inkohlungsgrad.

Gepflogenheiten 4 mm betrug. Die Darstellung richtete sich nach DIN 21 900 [30].

Bei den quantitativen Analysen der Mikrolithotypen an Stückschliffen wurde abweichend von den üblichen Methoden [14, 31] folgendermaßen vorgegangen:

Die Grundlage für die mikroskopische Flözanalyse bildeten die durch den makroskopischen Flözschnitt gefundenen Einheiten. Ihre Grenzen wurden auf der Schliffoberfläche entlang einer Meßlinie eingeritzt. Jeder Abschnitt wurde dann für sich bei der üblichen 200fachen Vergrößerung nach Mikrolithotypen untersucht.

Unterschieden sind die gleichen Streifenarten wie bei der Analyse am Feinkornschliff. Die Darstellung richtete sich wieder nach DIN 21 900 [30]. Für die bei der Aufstellung dieser Normen noch unberücksichtigten Zwischenstufen wurde ein Zeichen eingeführt.

Die Mazeralanalysen wurden nach dem Point-Count-Verfahren ausgeführt. Allerdings diente dazu kein elektrischer Point-Counter, sondern ein Okularplättchen mit zehn über das Gesichtsfeld verteilten Fadenschnittpunkten in Verbindung mit einem mechanischen Zählgerät. Gewertet wurden die Mazerale, die unter den einzelnen Punkten lagen. Der Schlifftransport geschah von Hand mit Hilfe eines Kreuztisches. Die Weite des Vorschubs richtete sich nach der Abschnittsgröße, die vom makroskopischen Flözschnitt bestimmt wurde. Je Abschnitt wurden 1000 Punkte gezählt. In Abweichung von der häufig üblichen Zusammenfassung technologisch ähnlich sich verhaltender Mazerale zu Mazeralgruppen wurden die einzelnen Mazerale getrennt gezählt.

Zur Unterscheidung von Collinit und Telinit wurden die Schliffe mit einer schwefelsauren Lösung von Kaliumpermanganat angeätzt. Diese Methode hat M. Teichmüller [32] beschrieben. Nach Vorarbeiten von H. J. Kelch, Essen, für deren mündliche Mitteilung ich zu danken habe, ist sie im Verlauf dieser Arbeit verfeinert worden.

In destilliertem Wasser (70 %) wurde Kaliumpermanganat (25 %) aufgelöst und konzentrierte Schwefelsäure (5 %) hinzugegeben. Die Lösung erhielt durch Erwärmen eine Temperatur von 50 ° C. Dann wurde die Schliffoberfläche, nachdem sie zum Teil mit handelsüblichem Tesafilm abgedeckt worden war, in das Ätzmittel getaucht. Das Abdecken hat den Vorteil, daß sich später der geätzte und der ungeätzte Bereich unmittelbar miteinander vergleichen lassen. Die Ätzdauer richtet sich nach dem Inkohlungsgrad entsprechend Abb. 3. Nach dem Ätzen mußte die entstandene Braunsteinschicht mit frischbereiteter schwefliger Säure abgelöst werden.

Das Ätzten ruft eine unterschiedliche Oxydation der Mazerale hervor, wodurch die optischen Kontraste verstärkt werden. Für den Vitrinit bedeutet das eine selektive Lösung des Collinites. Dadurch bekommt seine Oberfläche eine dem Vergelungsgrad entsprechende Rauhigkeit, die sich in einer mehr oder weniger diffusen Reflexion des Lichtes ausdrückt. Auf diese Weise lassen sich verschiedene Vergelungsstadien erkennen, so daß man den Vitrinit in Anlehnung an die Gepflogenheit im russischen Fachschrifttum in Collinit, Semicollinit, Semitelinit und Telinit aufgliedern könnte.

Die Analyse ging in zwei Schritten vor sich. Zunächst wurden die Mazerale am unbehandelten Schliff ausgezählt, um den Vitrinitgehalt zu ermitteln. Dann folgte das Ätzen und die Bestimmung des Telinitgehaltes gegenüber dem gesamten Rest. Die Differenz des Telinitgehaltes zum Gesamtvitritnit ist der Collinitanteil.

In höher inkohlten Kohlen empfiehlt es sich, auch den Resinit am geätzten Schliff zu bestimmen.

Vergleich der makroskopischen Flözschnitte und mikroskopischen Flözanalysen nach Mikrolithotypen

Die Analysenergebnisse sind in den Abb. 4 und 5 dargestellt. Zum Liegenden sind die Flözgrenzen weniger scharf als zum Hangenden. Während im unteren Abschnitt der Probe Friedrich Heinrich jedoch nur 16 % mit Schwefelkies und Ton verunreinigte Kohle auftritt, liegen in den beiden anderen Proben die Mineralgehalte höher, so daß dort die untersten Flözteile auch makroskopisch als unreine Kohle bezeichnet worden sind.

Bis auf den oberen Teil der Probe Grillo 1/2 ist das Flöz als Humuskohle ausgebildet. In allen drei Schnitten ist zwar überall Fusit mehr oder weniger stark vertreten, jedoch ist er nirgendwo derart angereichert, daß unter den Lithotypen auch Faserkohle hätte ausgeschieden werden müssen. Eine weitere gemeinsame Erscheinung ist eine Pyritanreicherung ungefähr 10 bis 18 cm unter dem Hangenden. In den Profilen Friedrich Heinrich und Prosper II ist deshalb je zweimal und in Grillo 1/2 einmal unreine Kohle dargestellt worden.

Wie man beim Vergleich der makroskopischen Flözschnitte mit den mikroskopischen Flözanalysen erkennt, erlaubt die Unterscheidung verschiedener Lithotypen nur eine unzureichende rohstoffliche Kennzeichnung der Kohle. So muß eine Mattkohlenlage nicht zwangsläufig einen inertinitbetonten Mazeralbestand zur Ursache haben, sondern häufig genügen schon geringe Mineralbeimengungen, um eine an Inertinit (und Exinit) arme Kohle matt erscheinen zu lassen. Daher ergeben die mikroskopischen Flözanalysen auf Grund des unterschiedlichen Mikrolithotypenbestandes ein weitaus differenzierteres Bild von der Zusammensetzung des Flözes und lassen zugleich größere Zusammenhänge besser erkennen. So zeigen die beiden ersten Schnitte in Anbetracht der großen Entfernung, die zwischen ihnen liegt, große Ähnlichkeit. Das starke Zurücktreten von Clarit bei Prosper II ist dabei zu vernachlässigen, da es zum großen Teil auf die schlechte Erkennbarkeit der Mikrosporen wegen des höheren Inkohlungsgrades zurückzuführen ist. Beide Schnitte zeigen in großen Zügen über dem Liegenden eine allmähliche Vitritzunahme, die jedoch bald wieder rückläufig wird und ziemlich genau in der Mitte ein Minimum erreicht. Bei Friedrich Heinrich herrschen dort Durit und Zwischenstufen neben Fusit und Brandschiefer vor, bei Prosper II sind vor allem Zwischenstufen und Brandschiefer neben Durit und Fusit verbreitet. Danach nimmt der Vitritanteil sehr schnell zu, erreicht ein Maximum und wird gegen Ende der Flözbildung allmählich wieder von Zwischenstufen und Durit verdrängt.

Völlig abweichend von dieser Ausbildung erscheint dagegen der Schnitt Grillo 1/2. Der Duritanteil ist auf wenige Reste zurückgegangen, und auch die Zwischenstufen spielen nur eine untergeordnete Rolle. Dafür ist Clarit sehr stark vertreten, da auch die Kennelkohle zum größten Teil aus Clarit besteht.

Die Mazeralverteilung in den Flözproben

Wie allgemein bekannt, ist die Entstehung der vorwiegend aus Holz hervorgehenden Mazerale weitgehend von der Moorfazies abhängig. Zustand und Verteilung dieser Mikrobestandteile im Flöz müssen daher Rückschlüsse auf dessen Genese erlauben.

Vitrinit

Die Analysen an den Feinkornschliffen haben gezeigt, daß in allen Proben Vitrinit am häufigsten ist. Die mikroskopischen Flözanalysen nach Mazeralen geben im Mittel das gleiche Bild. Die in Abb. 6 dargestellten Schnitte zeigen jedoch deutliche Unterschiede in der Verteilung des Vitrinits. Dieses Bild wird dadurch noch weiter verfeinert, daß Collinit und Telinit getrennt aufgeführt wer-

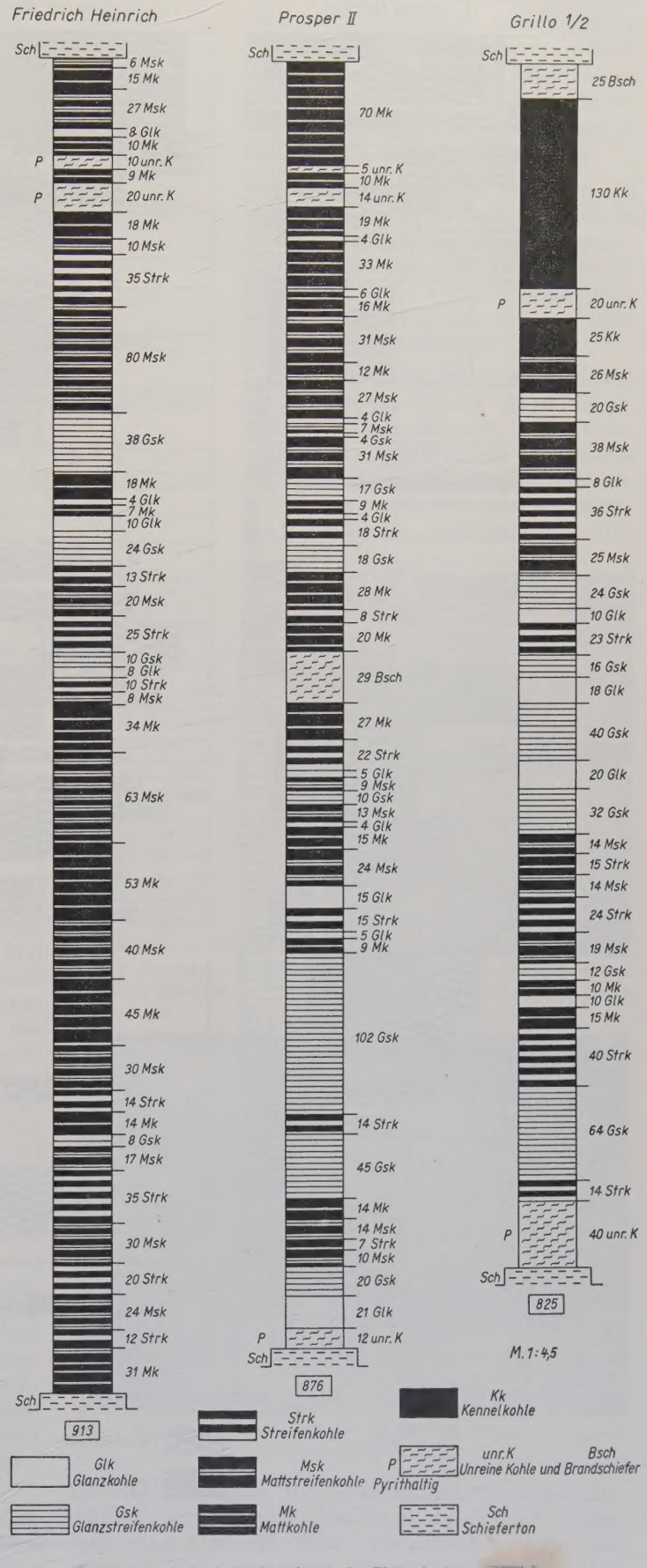


Abb. 4. Makroskopische Flözschnitte.

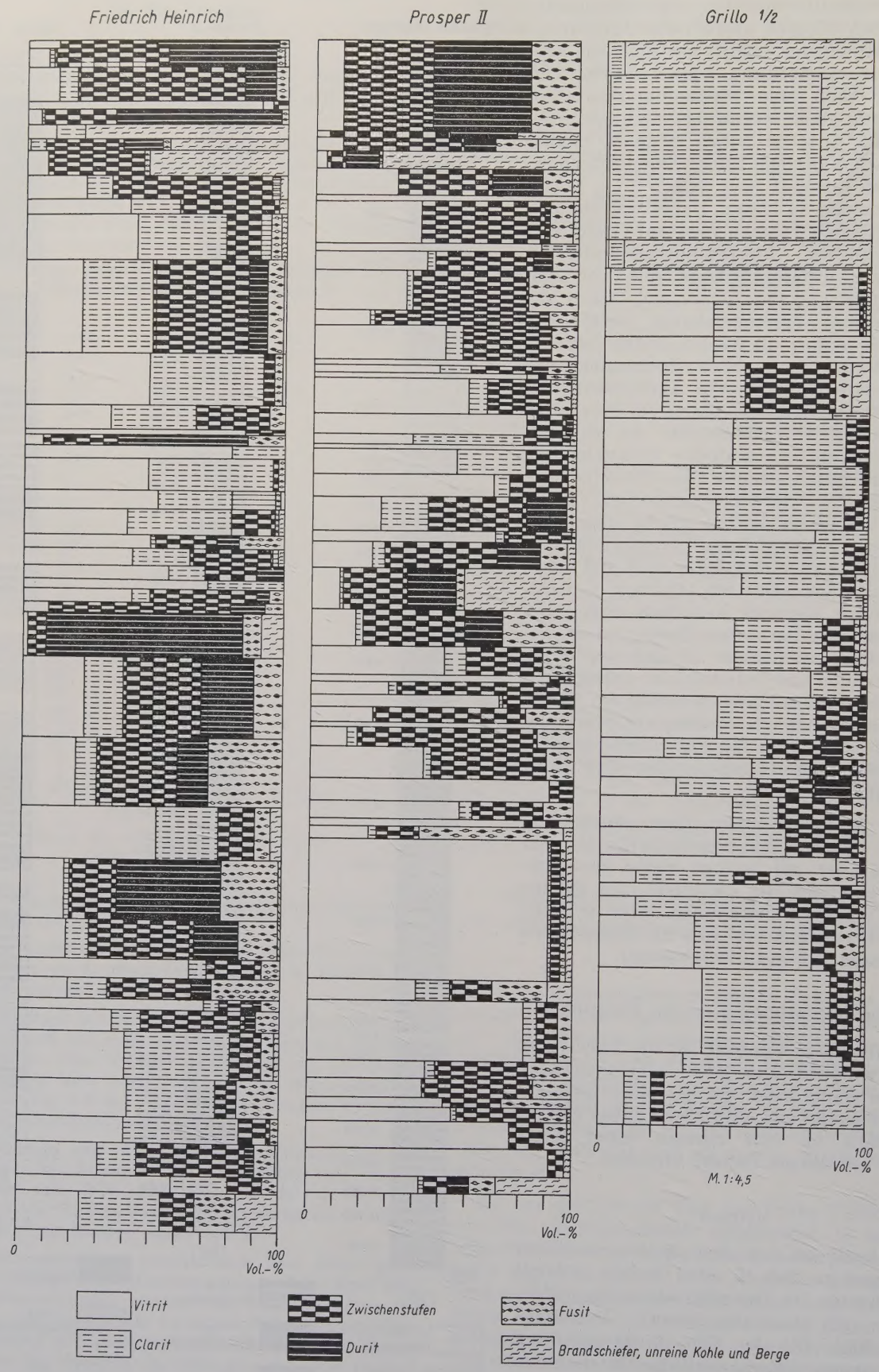


Abb. 5. Mikroskopische Flözanalysen.

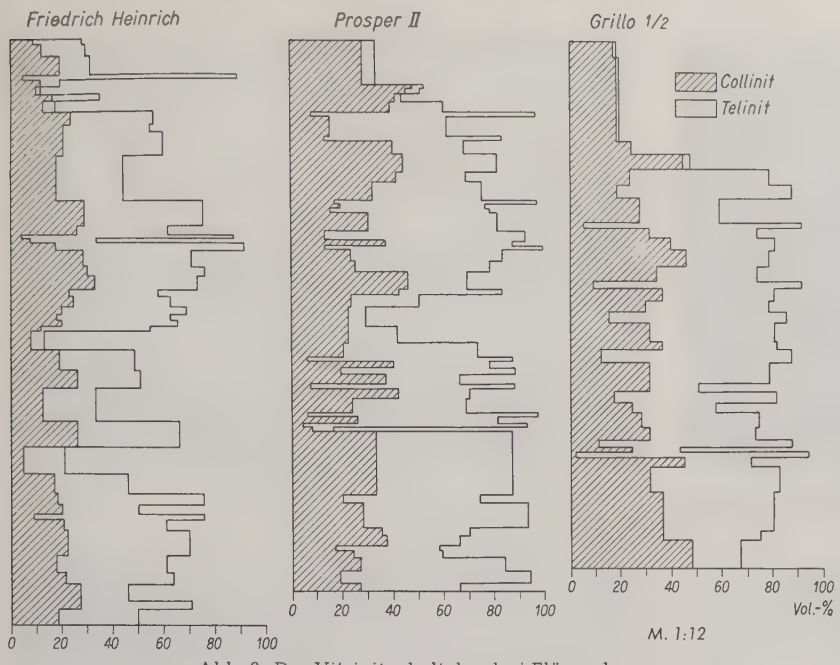


Abb. 6. Der Vitrinitgehalt der drei Flözproben.

den. Eine eindeutige Unterscheidung beider bereitet zuweilen Schwierigkeiten, da scharfe Grenzen weniger verbreitet sind als Übergänge von der Art, wie sie Abb. 7 zeigt. Eine bloße Unterscheidung auf Grund des Vorhandenseins oder Fehlens von Zellstrukturen befriedigt nicht recht, sondern es erscheint erforderlich, auch die Wirkung des Ätzmittels auf den Vitrinit zu berücksichtigen.

Ein gut ausgebildeter Telinit zeigt nach dem Ätzen glatte Zellwände, die durchweg gequollen erscheinen. Die Zellhohlräume sind daher verengt und als Folge von diagenetischem und vielleicht auch tektonischem Druck häufig bis auf schmale Schlitze verkleinert (Abb. 8). Die Quellung der Zellwände, die unter anderem auch Bogoljubova [17] als erstes Stadium einer bereits während der Torfbildung beginnenden [33] und durch Austrocknen der Humusgele an der Grenze zwischen Weich- und Hartbraunkohle [20] beendeten Collinitisierung ansieht, kann soweit gehen, daß die Zellhohlräume ganz verschwinden, und lediglich die scharf herauspräparierten Mittellamellen als Strukturträger übrigbleiben (oberer Teil von Abb. 7). Das bedeutet, daß die Zellhohlräume viel seltener von Collinit erfüllt sind als allgemein angenommen wird (siehe auch [34]).

Typischer Collinit zeigt demgegenüber nicht nur keine Zellstruktur, sondern wird beim Ätzen so stark oxydiert, daß er unter dem Mikroskop fast schwarz erscheint. Seinen ehemals hochmobilen Zustand verrät er dadurch, daß er gelegentlich Risse ausfüllt, andere Mazerale und deren Bruchstücke verkittet, sich schlierenförmig um alle weniger plastischen Einschlüsse herumlegt und auf einseitige Druckbeanspruchungen durch Ausweichen reagiert. Der letzte Fall wird durch Abb. 9 veranschaulicht, die zwischen zwei am Rande gerade noch sichtbaren Telinitbruchstücken herausgequetschten Collinit zeigt.

Bei den Analysen werden in einem telinitischen Bereich nur die Punkte als Telinit gewertet, die unmittelbar auf Zellwänden liegen (s. auch [25]).

Damit wird zugleich einem Einwand von Stach [35] Rechnung getragen, nach dem der Begriff Collinit lediglich auf den Teil des strukturlosen Vitrinits zu beschränken ist, der einen ehemals kolloidalen Zustand durchlaufen hat, nicht aber auch auf den in diesem Fall telinitischen Attritus.

Ein weiterer Hinweis von Stach auf das Fehlen von Collinit in Kennel- und Bogheadkohlen kann zumindest für die Sapropelkohle von Grillo 1/2 nicht bestätigt werden, denn auch hier werden Minerale und Mazerale durch Collinit verkittet.

Unter der Annahme, daß Collinit starke Durchfeuchtung als Bildungsbedingung kennzeichnet, müßte theoretisch sein Anteil an der Flözzusammensetzung ein Maß für die faziellen Verhältnisse sein. Wie aus den Schnitten hervorgeht, enthalten die Ab-

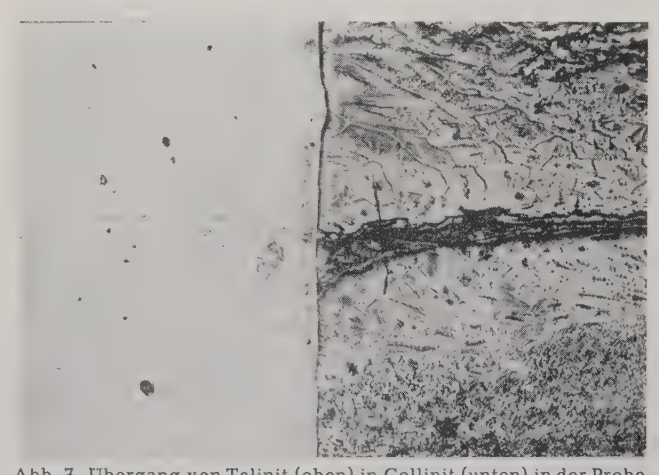


Abb. 7. Übergang von Telinit (oben) in Collinit (unten) in der Probe Friedrich Heinrich; v = 200. Hellfeld, Ölimmersion. Rechte Seite geätzt.

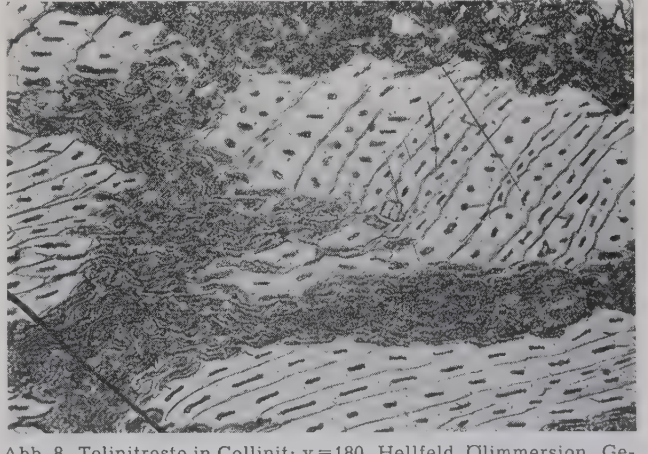


Abb. 8. Telinitreste in Collinit; v = 180. Hellfeld, Ölimmersion. Geätzter Anschliff.

schnitte mit hohen Vitrinitanteilen stets verhältnismäßig wenig Collinit. Das liegt daran, daß Glanzkohlenlagen häufig, reine Vitritstreifen sogar fast stets aus Telinit bestehen. Umgekehrt liegen die Ver-

Abb. 9. Zwischen zwei Telinitschollen herausgequetschter Collinit. Im unteren Teil eine Pilzdauerspore; v = 180. Hellfeld, Ölimmersion. Geätzter Anschliff.

hältnisse in den Abschnitten mit geringen Vitrinitanteilen. Telinit erscheint dort nur in Bruchstücken oder Zellwandresten. Je nach dem Vorherrschen anderer Mazerale und Minerale tritt jedoch der Collinitgehalt mehr oder weniger zurück, so daß weniger sein absoluter Anteil an der Flözzusammensetzung geeignet erscheint, ein bestimmtes Bildungsmilieu zu beschreiben, sondern eher sein auf Gesamtvitrinit = 100 % bezogener relativer Anteil. Zusammensetzung und Zustand der anderen Mazerale vermögen weitere Hinweise zu geben. In Abb. 10 sind die relativen Collinitanteile dargestellt. Besonders hohe Werte zeigen die oberen Flözteile von Prosper II und Grillo 1/2. Sie weisen darauf hin, daß dort ähnliche Bildungsbedingungen vorlagen. Auch die Probe Friedrich Heinrich enthält im oberen Teil ziemlich viel Collinit, doch fallen in den obersten Streifen die Werte wieder etwas. Der Mittelbereich der beiden ersten Schnitte läßt auf Grund der Collinitanreicherung ebenfalls einen gleichen Entwicklungsgang erkennen, der bei Prosper II am ausgeprägtesten ist. In den unteren Flözteilen sind die Verhältnisse unterschiedlich. Während bei Grillo 1/2 die Kohlenführung mit einem ziemlich hohen Collinitanteil einsetzt, nimmt er bei Friedrich Heinrich erst allmählich zu. Prosper II steht zwischen beiden, indem zunächst ein schmaler Streifen mit einem hohen Collinitanteil auftritt, dieser dann stark zurückgeht und dann langsam wieder steigt.

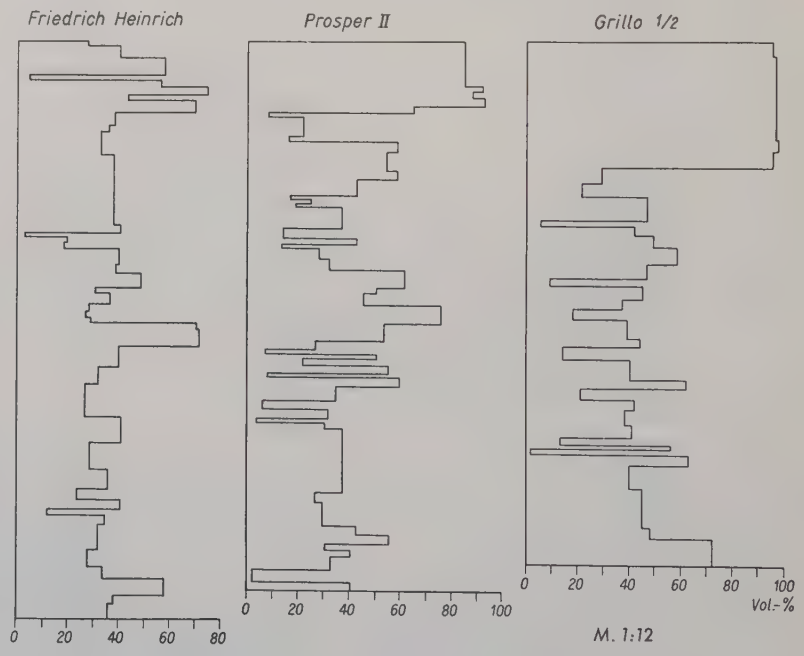


Abb. 10. Der relative Collinitanteil (Vitrinit = 100 %).

Semifusinit, Fusinit und Sklerotinit

Seiner genetischen Stellung entsprechend hat der Semifusinit sowohl zum Telinit als auch zum Fusinit fließende Grenzen. Gegen den Telinit ist seine Schleifhärte größer und das Reflexionsvermögen meistens höher. Eine saubere Abgrenzung beider ist schwierig, wenn ein direkter Übergang vorliegt, wie ihn Abb. 11 zeigt. Die Grenze ist dann dorthin zu legen, wo die ersten offenen Zellhohlräume auftreten. Sie haben vielfach eine völlig unregelmäßige Gestalt und sehr unterschiedliche Größe. Der Grund dafür liegt vor allem darin, daß die Zellwände größtenteils von Collinit umhüllt sind, wie Abb. 12 erkennen läßt.

Für die Bildung des die Zellwände umhüllenden Collinits gibt es zwei Möglichkeiten. Er kann sowohl nachträglich in die Zellhohlräume eingewandert oder auch aus der Zellwandsubstanz selbst hervorgegangen sein. Die Beobachtung, daß die Zellhohlräume in Richtung auf den Fusinit größer und regelmäßiger werden, die Zellwände schärfer hervortreten, und das ganze Zellgefüge weniger verschwommen erscheint, macht die Annahme einer partiellen Vergelung bei nicht allzu starker Voroxydation wahrscheinlich. Diese Auffassung wird dadurch gestützt, daß der zusammen mit Semifusinit in das gleiche Milieu verschwemmte Fusinit fast nie Collinit enthält, was bei der Annahme einer nachträglichen Ausfüllung unverständlich wäre.

Für die Frage nach der Entstehung des Semifusinits erscheint die Beobachtung wichtig, daß er häufig in Verbindung mit Tonschmitzen angetroffen wird. Auch sind die Zellhohlräume gelegentlich mit Ton gefüllt. Das paßt gut zu seiner Verteilung in den Flözschnitten, die in Abb. 13 dargestellt sind. Es zeigt sich, daß er zum Teil an den Stellen seifenartig angereichert ist, an denen auf Grund des hohen Collinitanteils subaquatische Sedimentationsbedingungen angenommen werden können.

Fusinit ist in allen Proben — auf den Sedimentationsort bezogen — ebenfalls als allochthon anzusehen. Einlagerungen von Ton, Pyrit und Karbonspat sind nicht selten. Sein hohes Reflexionsvermögen, die große Schleifhärte, eine gelblichweiße Farbe und das häufige Auftreten von Bogenstruktur (zerbrochene Zellwände) unterscheiden ihn vom Semifusinit. Gelegentlich sind die Zellwände sekundär verdünnt, wie es der obere Teil von Abb. 14 zeigt. Eine solche Ver-

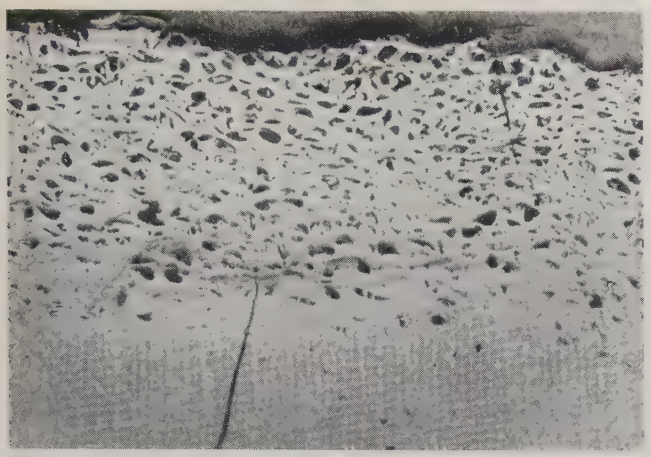


Abb. 11. Übergang von Vitrinit in Fusinit in der Probe Grillo 1/2; v = 200. Hellfeld, Ölimmersion.

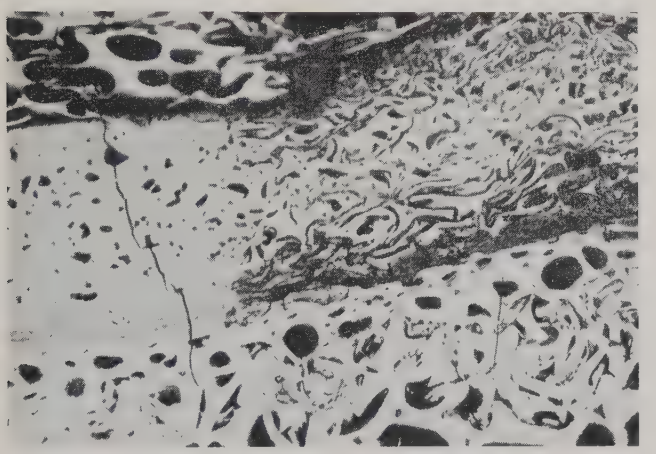


Abb. 12. Semifusinit und Fusinit in der Probe Prosper II; v = 200. Hellfeld, Ölimmersion. Rechte Bildhälfte geätzt.

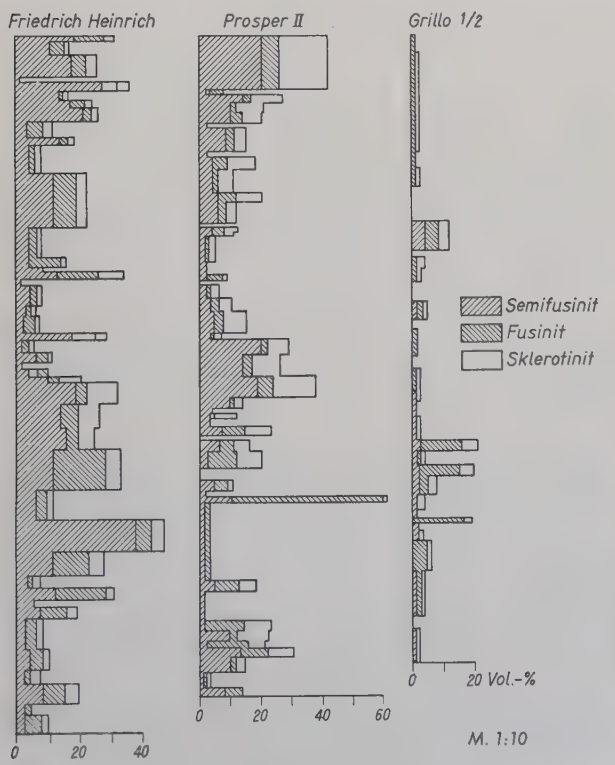


Abb. 13. Die Verteilung der Mazerale des Fusits.

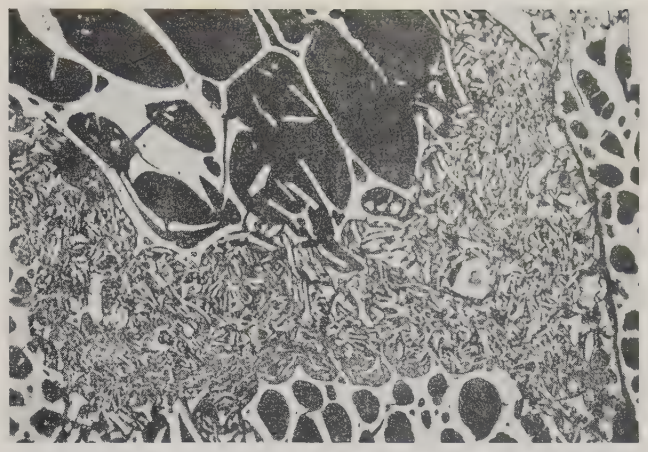


Abb. 14. Fusinit, in der Probe Friedrich Heinrich. In der Mitte Bogenstruktur, im oberen Teil sind die Zellwände sekundär verdünnt; v = 200. Hellfeld, Ölimmersion.

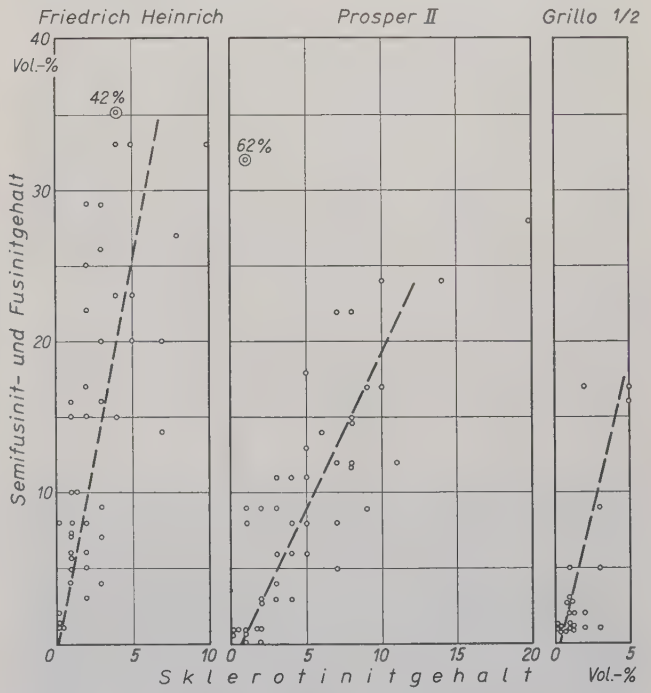


Abb. 15. Verhältnis von Semifusinit + Fusinit zu Sklerotinit.

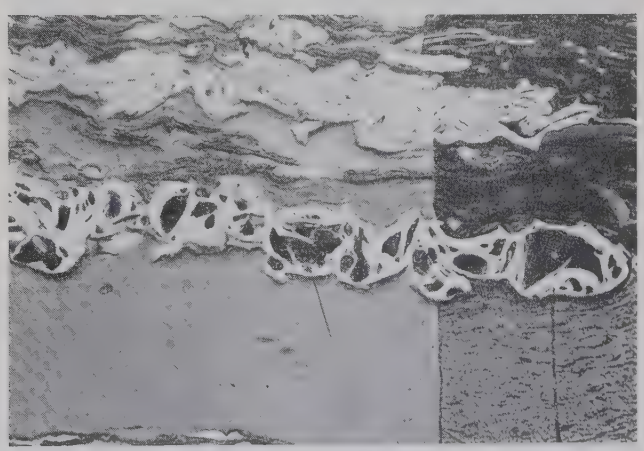


Abb. 16. Plectenchym in der Probe Friedrich Heinrich (Bildmitte); v = 200. Hellfeld, Ölimmersion. Rechte Seite geätzt.

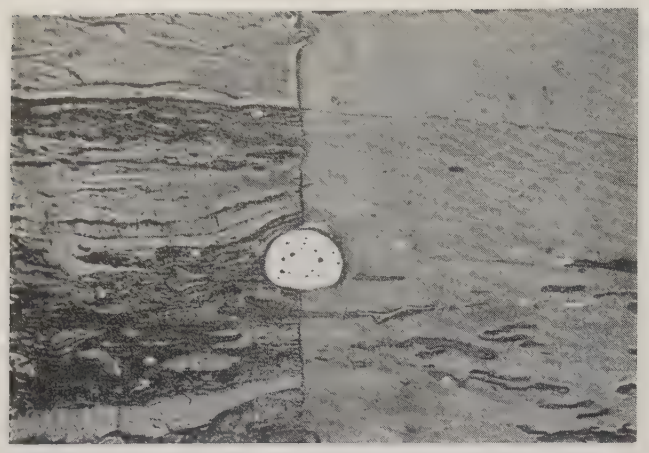


Abb. 17. Sklerotinit in der Probe Friedrich Heinrich; v = 200. Hellfeld, Ölimmersion. Linke Seite geätzt.

dünnung zusammen mit einer Kohlenstoffanreicherung hat M. Teichmüller [33] auch an rezentem Holz feststellen können, das von Pilzen befallen war.

Wie aus den Schnitten hervorgeht, treten Semifusinit, Fusinit und Sklerotinit fast immer zusammen auf, und Abb. 15 zeigt klar, daß größere Mengen an Semifusinit und Fusinit fast ausnahmslos entsprechend hohe Sklerotinitanteile zur Voraussetzung haben. Daraus ergibt sich, daß Brandfusinit keine große Rolle spielen kann, sondern, wenn nicht ausschließlich, so doch überwiegend in den Proben Zersetzungsfusinit vorliegt.

Der Sklerotinit, auf dessen Bedeutung besonders Stach [36, 37] und Pickhardt [38] hingewiesen haben, tritt in Form von Pilzhyphengeflecht mit sehr unregelmäßig gestalteten Hohlräumen (Plectenchym, Abb. 16)

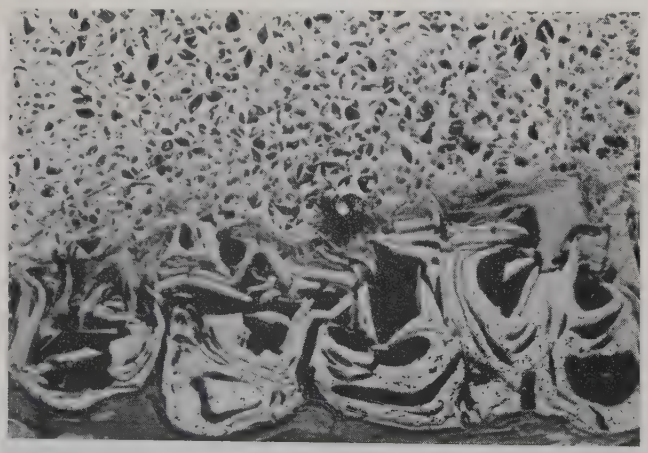


Abb. 18. Mit Sklerotinit durchsetzter Fusinit in der Probe Friedrich Heinrich; v = 200. Hellfeld, Ölimmersion.

und Pilzdauersporen (Sklerotien, Abb. 17) auf. Reflexion und Schleifhärte sind häufig noch größer als beim Fusinit. Das Reflexionsvermögen kann jedoch auch erheblich niedriger liegen und fast dem des Vitrinits gleichkommen. Die Pilzhyphen durchsetzen das Holzgewebe oftmals so innig (Abb. 18), daß eine scharfe Grenze zum Fusinit und Semifusinit nicht immer eindeutig zu ziehen ist. Auch ist die Zuordnung sehr kleiner Splitter zuweilen problematisch.

Mikrinit

Feinkörniger und massiger Mikrinit werden in den Schnitten der Abb. 19 gemeinsam dargestellt. Seine Erkennung und Auszählung macht bei der quantitativen Mazeralanalyse die größten Schwierigkeiten. Es scheint zwei grundsätzlich verschiedene Typen von massigem Mikrinit zu geben. Die eine Art hat eine ziemlich glatte Oberfläche, die zuweilen flach gewölbt ist und nur durch Einschlüsse von Fremdmazeralen oder gelegentlich auftretenden undeutlichen Schrumpfungsrissen unterbrochen wird. Dieser Typ erscheint in unterschiedlichen Helligkeitsstufen (Abb. 20).

Er entspricht dem von Bogoljubova [17] beschriebenen Mikrinit, da sich auch hier zuweilen eine Vergesellschaftung mit Ton beobachten läßt. Zugleich nimmt stets der Pyritgehalt etwas ab. Das bedeutet, daß hier tatsächlich im Sinne von Bogoljubova ein Entwicklungsgang angenommen werden kann, bei dem von reduzierenden Bedingungen ausgehend das „vorvergelte" Material mindestens beim Transport in gut

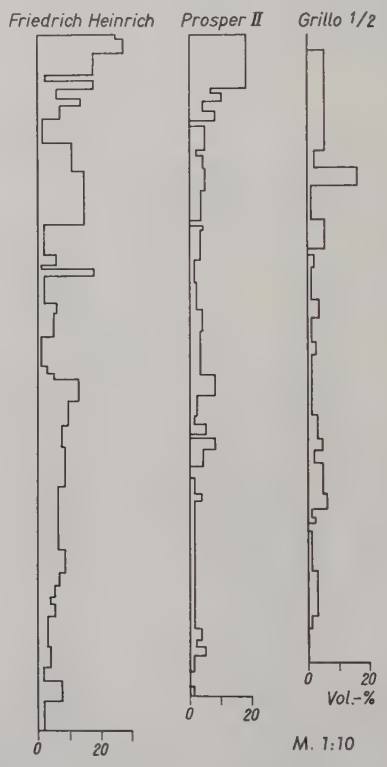


Abb. 19. Die Mikrinitverteilung.

durchlüftetem Wasser einer zeitweisen Oxydation ausgesetzt war, deren Dauer und Intensität sich dann in den verschiedenen Helligkeitsstufen widerspiegelt.

Der zweite Typ nimmt eine Zwischenstellung zum feinkörnigen Mikrinit ein. Seine Oberfläche löst sich bei Anwendung einer starken Vergrößerung in unzählige winzige Körner auf, die denen des feinkörnigen Mikrinits gleichen. Beide treten auch stets zusammen auf (Abb. 21). Man kann daher diesen Typ als eine Zusammenballung von Feinmikrinit betrachten (vgl. auch Stach [37]).

Wie man seit langem weiß, tritt feinkörniger Mikrinit mit Vorliebe in der näheren Umgebung von Mikrosporen auf. So ist er im Flöz Katharina vor allem in

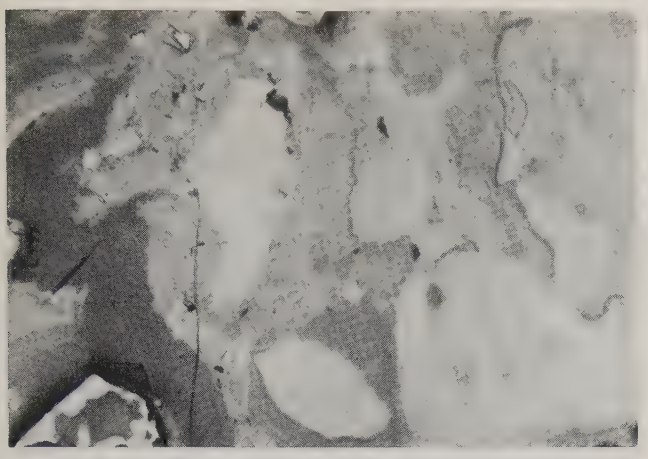


Abb. 20. Massiger Mikrinit in der Probe Prosper II; v = 500. Hellfeld, Ölimmersion.

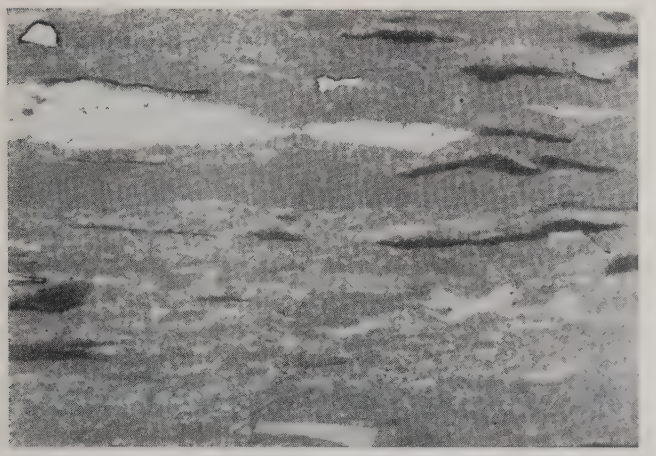


Abb. 21. Vorherrschend feinkörniger Mikrinit in sporenarmem Clarit in der Probe Friedrich Heinrich; v = 500. Hellfeld, Ölimmersion.

Clariten häufig zu finden. Man kann ihn dort jedoch auch im Zusammenhang mit Makrosporen beobachten, und meistens ist er dann an den Stellen angereichert, wo die Sporen Korrosionen oder partielle Auflösungserscheinungen zeigen (Abb. 22). Daneben kommt er in Verbindung mit Resinit vor. Die zahlreichen ovalen und schlierigen Formen der Zusammenballungen von Feinmikrinit machen es wahrscheinlich, daß ganze Resinitkörper oder unfiguriertes Bitumen in Mikrinit umgewandelt worden sind. Sein Fehlen in tertiären Braunkohlen und sein noch unfertiger Zustand in der unterkarbonischen Braunkohle des Moskauer Beckens deuten darauf hin, daß die Bildung des feinkörnigen Mikrinits erst spät in der Inkohlung [33, 37] vor sich gegangen ist.

Exinit

Noch mehr als bei anderen Mazeralgruppen werden unter dem Begriff Exinit Mikrokomponenten zusammengefaßt, die sehr verschiedener Herkunft sind. Aus diesem Grunde sind bei den Analysen die Einzelmazerale getrennt gezählt worden. Ihre Verteilung in den Flözproben ist in Abb. 23 dargestellt. *Sporinit und Kutinit* kann man jedoch gemeinsam behandeln, da beide Mazerale von Pflanzenteilen abstammen.

Fast überall verbreitet, aber nur selten angereichert sind *Mikrosporen* mit dünnwandigen Exinen. In vertikaler Richtung sind sie nur wenig mehr als ein Mikron

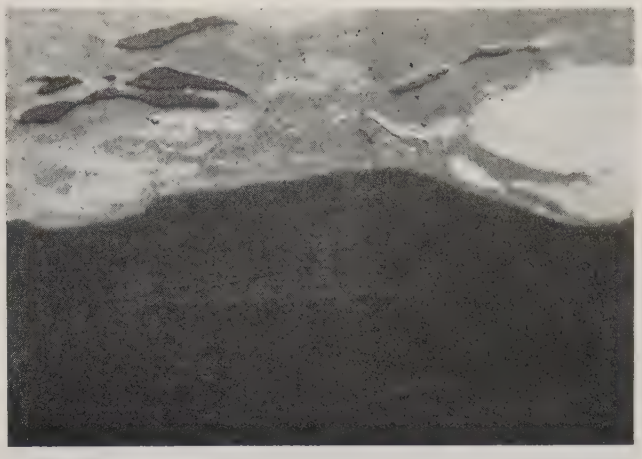


Abb. 22. Feinkörniger und massiger Mikrinit am Korrosionsrand einer Makrospore in der Probe Friedrich Heinrich; v = 500. Hellfeld, Ölimmersion.

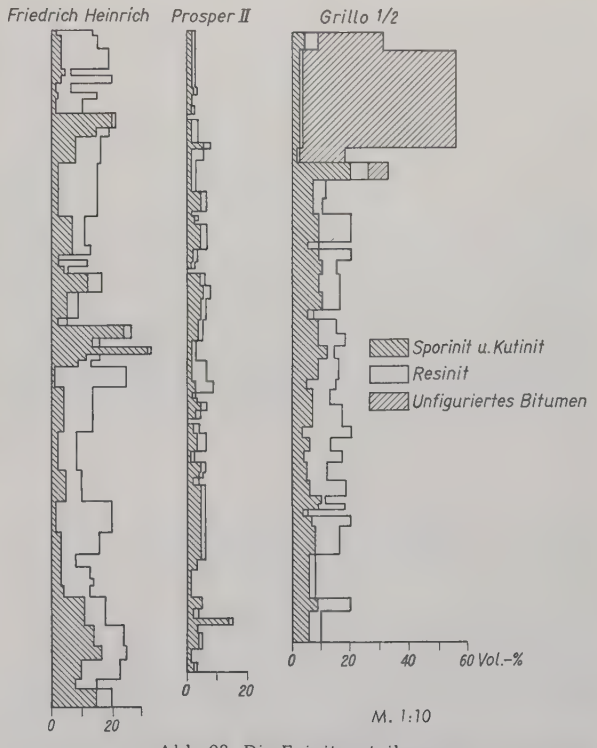


Abb. 23. Die Exinitverteilung.

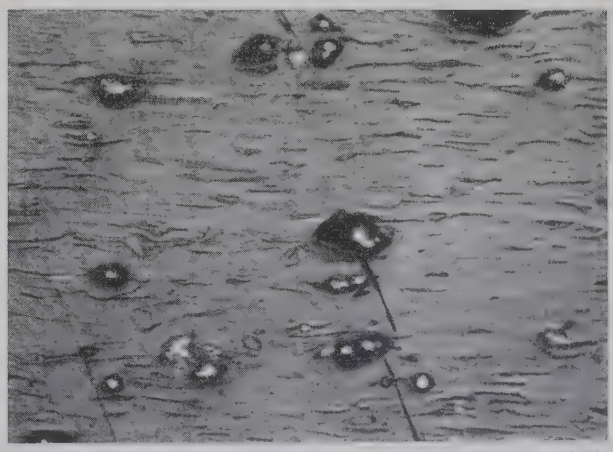


Abb. 24. Mikrosporen und feinkonkretionärer Pyrit in claritischer Kennelkohle der Probe Grillo 1/2; v = 200. Hellfeld, Ölimmersion.

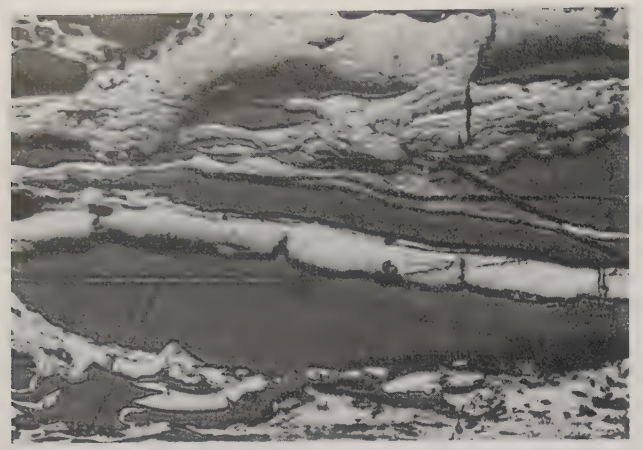


Abb. 25. Stark korrodierte Makrosporen in der Probe Friedrich Heinrich; v = 200. Hellfeld, Ölimmersion.

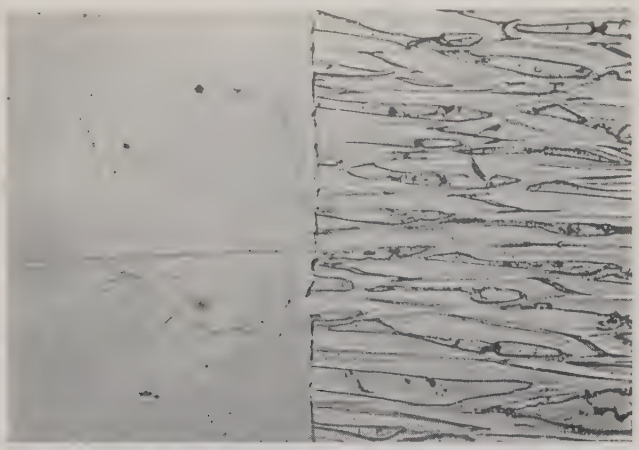


Abb. 26. Resinit in Telinit in der Probe Grillo 1/2; v = 200. Hellfeld, Ölimmersion. Rechte Seite geätzt.

breit bei einer horizontalen Erstreckung von 10 bis 100 μ. Im Vergleich zum Vitrinit haben sie in Abhängigkeit vom Inkohlungsgrad ein mehr oder weniger ausgeprägtes positives Relief und ein geringeres Reflexionsvermögen (Abb. 24).

Makrosporen sind scheinbar lediglich in der Probe Prosper II vorherrschend. Dieser Eindruck entsteht, weil infolge des höheren Inkohlungsgrades die Mikrosporen schlechter erkennbar sind als die stärker hervortretenden Makrosporen. Ihre Vertikalerstreckung beträgt 20 bis 50 μ bei einer Länge bis zu 3 mm.

Kutinit ist wenig verbreitet. So sind in den Proben Prosper II und Grillo 1/2 selten Kutikulen beobachtet worden, nur bei Friedrich Heinrich liegt vereinzelt Kutikulenclarit vor. Die Kutikulen sind durchweg sehr langgestreckt und dünnwandig, die für die Innenseite der Blattoberhäute typische Zähnelung ist häufig schlecht ausgebildet oder korrodiert.

Ein Teil der Sporen und Kutikulen erscheint bemerkenswert aufgehellt. Wie sich aus den Flözschnittuntersuchungen ergibt, ist diese sekundäre Aufhellung an die mittleren, besonders aber an die oberen Flözteile gebunden, ohne jedoch in den anderen Teilen ganz zu fehlen. Daneben kann man eine mechanische Korrosion beobachten, die im besonderen Makrosporen und Kutikulen betrifft, was sich aus ihrer Größe und der dadurch gebotenen Angriffsfläche ergibt. Solche Korrosionserscheinungen, wie sie Abb. 25 zeigt, sind in allen Teilen der Flözproben verbreitet, doch treten sie besonders in den unteren Lagen gehäuft auf. Zuweilen scheint der gesamte Sporinit- und Kutinitanteil derart aufgearbeitet zu sein.

Resinit ist im allgemeinen dunkler als der Vitrinit (Abb. 26), doch häufig unterscheidet sich sein Reflexionsvermögen nicht wesentlich von dem des Vitrinits, so daß die Abgrenzung schwierig ist. Das ist besonders in collinitischer Umgebung der Fall, wo Resinit in Form von rundlichen, ovalen und schlierenförmigen Gebilden auftritt. An ungeätzten Schliffen ist er meistens nur dadurch erkennbar, daß sich Lagen von Mikrosporen oder anderen Mazeralen um ihn herumlegen. Nach dem Ätzen treten die Unterschiede jedoch sehr deutlich hervor (Abb. 27).

Eine weitere Bitumenart mit der Bezeichnung *unfiguriertes Bitumen* war im oberen Teil der Probe Grillo 1/2

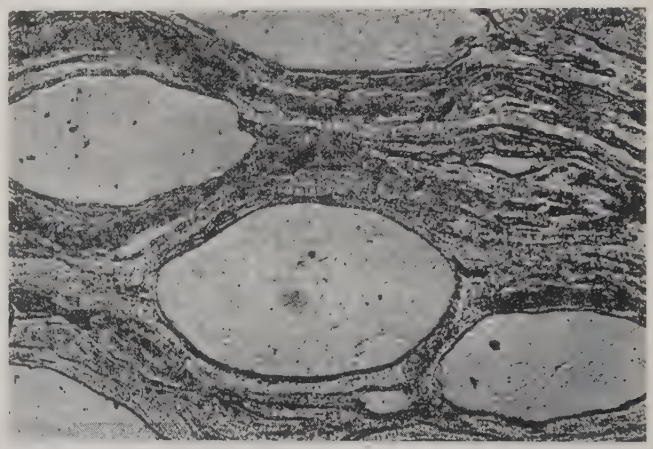


Abb. 27. Resinit in Collinit in der Probe Friedrich Heinrich; v = 200. Hellfeld, Ölimmersion. Geätzt.

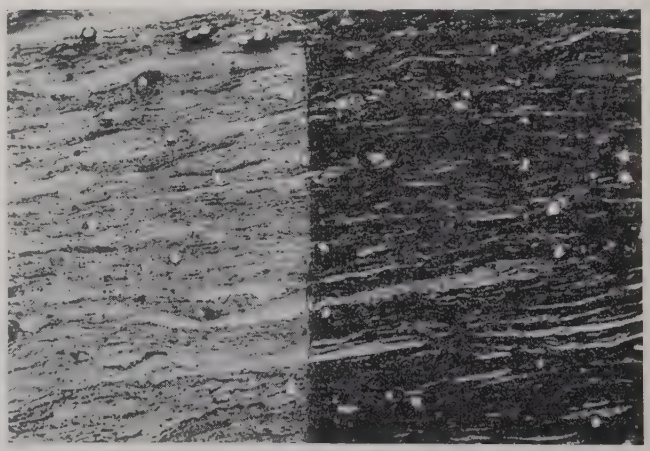


Abb. 28. Unfiguriertes Bitumen in Sapropelkohle der Probe Grillo 1/2; v = 200. Hellfeld, Ölimmersion. Rechte Seite geätzt.

anzutreffen. Mit diesem Begriff kennzeichnet M. Teichmüller [33] in der Braunkohle feinverteiltes dunkles Bitumen ohne kennzeichnende Gestalt, das auch bei starker Vergrößerung eine körnig-schlierige Masse bleibt. Es tritt vor allem in Kennelkohlen auf, wobei Fließstrukturen häufig sind. Aus der ganzen Erscheinungsform und dem Vorkommen in der Kennelkohle ergibt sich eine sehr wahrscheinliche Identität mit den in Abb. 28 dargestellten bituminösen Faulschlamm-

bildungen. Auch dort liegen dunkle Schlieren vor, die leicht mit korrodierten Mikrosporen verwechselt werden können.

Zuweilen haben sie auch eine Ähnlichkeit mit feinverteiltem Ton. Ton ist meistens dunkler und hebt sich bei Dunkelfeldbeleuchtung durch bezeichnende helle Reflexe von dem dann schwarzen Bitumen ab. Zwischen den unversehrten Mikrosporen und den Schlieren gibt es keine Zwischenstadien, wie man sie erwarten müßte, wenn es sich um Korrosionsreste von Sporen handeln würde. Außerdem ist das Relief der Sporen erheblich stärker, und nur die Farbe ist ähnlich.

Petrographische Untersuchungen des Mineralgehaltes der Kohle und des hangenden Schiefertons

Die Aufbereitung der Kohle und des Nebengesteins

Um den gesamten Mineralgehalt der Flözproben qualitativ und quantitativ bestimmen zu können, mußte man ihn von Kohle isolieren und anreichern. Dazu wurde eine Kohlendurchschnittsprobe im Mörser zerkleinert und so lange bei einer Temperatur von 110 ° C erhitzt, bis das Gewicht konstant blieb. Dann wurde die Probe gewogen und mehrere Tage in einem Elektroofen bei einer Temperatur von maximal 380 ° C entkohlt. Der Vorgang ist beendet, wenn alle Kohle wegoxydiert ist, was an der hellen Farbe des Rückstandes ersichtlich ist. Der gelegentlich vorkommende rötlich-braune Anflug entsteht durch die teilweise Oxydation des Pyrits zu Hämatit. Der Einfluß dieser Umwandlung auf die Wägung kann bei der Berechnung des Mineralgehaltes vernachlässigt werden. Allerdings läßt sich nicht entscheiden, ob vorher schon ein bestimmter Hämatitanteil vorgelegen hat. In den Anschliffen der Schnittsäulen ist jedoch kein Hämatit beobachtet worden, so daß der größte Teil sicherlich aus der Oxydation des Pyrits bei der Entkohlung hervorgegangen ist. Abgesehen von dem völlig untergeordnet beteiligten Gips, der einen Teil seines Kristallwassers abgegeben hat, konnten in den anderen hier in Frage kommenden Mineralen in diesem Temperaturbereich keine bleibenden Veränderungen nachgewiesen werden. Tonminerale geben zwar Adsorptions- und Zwischenschichtwasser ab, doch wird es nach dem Entkohlen aus der Luft wieder aufgenommen. Erst wenn die Temperatur 400 ° C überschreitet, beginnt bei einigen schlecht kristallisierten Tonmineralen der Ausbau von OH-Gruppen, weshalb alle Überhitzungen sorgfältig vermieden werden mußten. Nach Beendigung der Oxydation ließ man den Rückstand abkühlen und erhitzte ihn dann wiederum auf 110 ° C, bis sich Gewichtskonstanz eingestellt hatte. Anschließend wurde er gewogen und zur Weiterverarbeitung geviertelt.

Vom Nebengestein wurden die untersten 20 cm des hangenden Schiefertons untersucht. Das Ziel war die Ermittlung seines Mineralbestandes im Vergleich zu dem der Kohle. Um womöglich vorhandene Mikrofossilien nicht zu zerstören, wendete man folgende, auch die Kornformen der Minerale schonende Methode an:

Das Gestein wurde mit einem Hammer soweit zerkleinert, daß die Bruchstücke einen halben Kubikzentimeter nicht überschritten. Anschließend wurde entkohlt. Nach zwei bis drei Tagen bestimmte man den Gewichtsverlust. Durch die Wegoxydation der Bitumen- und Kohleeinschlüsse gewann der ursprünglich sehr dichte Schieferton an freiem Porenraum, was für die nachfolgende Behandlung mit kochender Glaubersalzlösung wichtig war. Diese in der Mikropaläontologie gebräuchliche Aufbereitungsmethode benutzt den Kristallisationsdruck des beim Verdampfen des Wassers in den Poren sich ausscheidenden Glaubersalzes zum Sprengen des Gesteins. Am besten kocht man Lösung und Gestein zusammen kurz auf, dekantiert den Überschuß der Lösung und läßt das Material einen Tag stehen. Bereits nach einigen Wiederholungen ist der größte Teil zerfallen. Da der Zerfallsprozeß sich mit der Zeit verlangsamt, geht man von einer größeren als eigentlich erforderlichen Materialmenge aus, so daß man bereits nach fünf bis sechs Tagen genügend Substanz für alle weiteren Untersuchungen hat. Um sich zu vergewissern, ob man auf diesem Wege tatsächlich eine repräsentative Durchschnittsprobe erhielt, röntgte man einen Teil des so aufbereiteten Materials und eine gemahlene Durchschnittsprobe der gleichen Ausgangssubstanz. Verteilung und Intensität der d-Werte ließen in beiden Proben qualitativ und quantitativ den gleichen Mineralgehalt erkennen. Das feine Material wurde unter einem Wasserstrahl bei einer Maschenweite von 0,1 mm gesiebt, wodurch sich zugleich das Glaubersalz herauslöste. Nach dem Trocknen wurden durch Vierteln Durchschnittsproben hergestellt.

Da Schwefelkies sowohl im Mineralgehalt des Flözes als auch des Schiefertons eine große Rolle spielt, stört er bei der Identifizierung der weniger häufig vertretenen Minerale sehr, so daß es vorteilhaft ist, ihn vor den weiteren Untersuchungen abzutrennen. Die Trennung geschah im Scheidetrichter mit Hilfe von Bromoform, dessen spezifisches Gewicht bei 2,9 konstant gehalten wurde. Dadurch wurde konventionsgemäß eine Unterscheidung von Leicht- und Schwermineralen erreicht, die zugleich ein bequemes Ansprechen der Karbonate erlaubt. Auf Grund der Untersuchungsergebnisse ließ sich aus Infrarotspektroskopie, Röntgenographie und DTA feststellen, daß Kalzit nur im Leichtmineralauszug und Siderit nur im Schwermineralauszug auftreten. Dolomit (spezifisches Gewicht ungefähr 2,8) und Ankerit waren dagegen nicht einwandfrei zu trennen. Man konnte jedoch unter Hinnahme einer geringen Ungenauigkeit bereits auf Grund der Schwimm-Sink-Analyse eine Siderit-Ankerit-Gruppe von der Kalzit-Dolomit-Gruppe unterscheiden. Nach Erreichen einer befriedigenden Trennung von Leicht- und Schwermineralen, was häufig erst nach mehrmaliger Wiederholung der Fall war, wurden beide Fraktionen gesondert filtriert, mit Tetrachlorkohlenstoff gewaschen und nach dem Trocknen bei 110 ° C gewogen.

Die Gruppe der Tonminerale läßt sich zwar unter dem Mikroskop ohne große Schwierigkeit erkennen, in ihrer Gesamtheit — abgesehen von den allerfeinsten Fraktionen — auch auszählen, jedoch war eine nähere Indentifizierung auf mikroskopischem Wege kaum möglich. Um dennoch ihre Zusammensetzung ebenfalls annähernd quantitativ erfassen zu können, wendete man verschiedene Untersuchungsmethoden an. Eine besondere Bedeutung kommt dabei der Infrarotspektroskopie zu, da sie auf Grund ihrer Empfindlichkeit keine weitere Anreicherung der Tonmineralfraktion erforderlich macht. Für röntgenographische und differential-thermoanalytische Untersuchungen war es jedoch günstiger, die zu analysierende Mineralkomponente vorher anzureichern. Bei so kleinen Partikeln, wie sie Tonminerale darstellen, wurde das Schlämmverfahren angewendet. Dazu diente der Schlämmapparat nach Schultze-Harkort [39].

Untersuchungsmethoden

Mikroskopische Untersuchungen sollten einen Überblick über die quantitative Verteilung der Mineralgruppen in den Proben liefern. Dazu wurden von den Leicht- und den Schwermineralfraktionen Streupräparate angefertigt, die jeweils eine Durchschnittsprobe des Mineralgehaltes wiedergaben. Der Brechungsindex des zur Einbettung benutzten Kanadabalsams wurde auf 1,540 eingestellt. Die Auszählung der Mineralanteile geschah im Durchlicht bei

400facher Vergrößerung. Mit Hilfe eines Okularplättchens, das 10 Fadenschnittpunkte enthielt, und eines mechanischen Zählgerätes wurden 500 Punkte ausgewertet. Der Schliff konnte mit Hilfe eines Kreuztisches verschoben werden.

Lichtbrechungsbestimmungen wurden nach der Einbettungsmethode unter Anwendung entsprechender Immersionsflüssigkeiten durchgeführt. Zur Eichung diente das Refraktometer nach Abbe der Firma Carl Zeiss, Oberkochem. Außerdem wurden die Proben im Dünnschliff untersucht.

Differentialthermoanalytische Untersuchungen wurden vor allem zur schnellen Identifizierung von Tonmineralen und Karbonspäten herangezogen.

Dazu wurde ein Gerät der Firma Hartmann & Braun AG, Frankfurt, unter Benutzung von Pallaplat-Thermoelementen verwendet. Die Aufheizgeschwindigkeit betrug 10 ° C/min, als Referenzmaterial diente ausgeglühtes Aluminiumoxyd. Wenn nicht anders angegeben, liefen die Aufnahmen mit einer Empfindlichkeit von ± 0,25 mV.

Neben der Identifizierung der Tonminerale sind *röntgenographische Untersuchungen* besonders in solchen Fällen angewendet worden, wo andere Methoden kein klares Ergebnis lieferten.

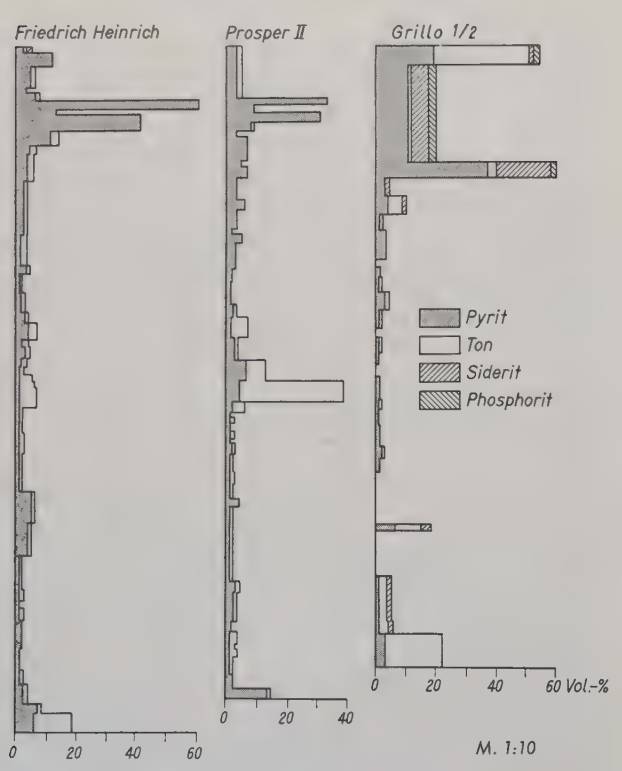


Abb. 29. Die Verteilung der syngenetischen Minerale.

Für die Tonmineraluntersuchungen mit Hilfe von Debeye-Scherrer-Aufnahmen wurden, aufbauend auf der Jasmundschen Sedimentationsmethode, Texturpräparate durch Zentrifugieren von Tonsuspensionen hergestellt [40]. Die Tonmineralplättchen ordneten sich dabei mit ihren 001-Flächen parallel zur Unterlage an, so daß bei der Röntgenaufnahme die zu ihrer Indentifizierung besonders geeigneten Basisreflexe bevorzugt auftraten. Als Aufnahmegerät diente ein mit einem Zählrohrgoniometer versehener Kristalloflex III. Bei geringen Substanzmengen wurden Filmaufnahmen hergestellt. Dazu nahm man Kobalt-Kα-Strahlung, da diese ziemlich langwellig ist, so daß die dicht beieinander liegenden Interferenzen der Tonminerale auseinandergezogen werden. Außerdem wird die bei Verwendung von Kupfer-Kα-Strahlung auftretende Fluoreszenzstrahlung in Anwesenheit von eisenhaltigen Mineralen vermieden.

Bei der quantitativen Untersuchung der Tonminerale hat sich die *Infrarotspektroskopie* besonders bewährt. Der theoretische Analysenfehler schwankt für die einzelnen Minerale, übersteigt aber selten 5% absolut. Gute Ergebnisse wurden bei allen silikatischen und karbonatischen Mineralen erzielt. Sulfide und Oxyde lassen sich nicht sicher erfassen, da sie keine typischen Absorptionen ergeben. Die Untersuchungen sind mit dem Infrarotspektrographen Modell 21 der Firma Perkin Elmer durchgeführt worden[3].

Der Mineralgehalt der Flözproben

Für die Beurteilung der Flözbildungsbedingungen sind die syngenetisch gebildeten Minerale besonders wichtig. Ihre Entstehungsweise ist größtenteils besser bekannt als die der Mazerale, so daß die faziellen Verhältnisse damit untersucht werden können.

Da bei der Ermittlung des Mineralgehaltes nach den beschriebenen Methoden keine Trennung in epigenetische und syngenetische Minerale möglich war, sind die letztgenannten bei den Mazeralanalysen an den Profilsäulen mitgezählt worden. Ihre Verteilung zeigt Abb. 29. Bei der Betrachtung der Schnitte fällt wiederum die erstaunliche Ähnlichkeit der Proben Friedrich Heinrich und Prosper II auf, die sich in den Pyrit- und den Tonmineralanteilen abzeichnet. Pyrit tritt zwar überall in wechselnden Mengen auf, doch nimmt sein Gehalt zum Hangenden hin zu und ist rd. 10 cm unterhalb der Flözoberkante zweimal in kennzeichnender Weise angereichert. Ebenso ist er in den untersten Flözteilen häufiger als sonst. Die früher ebenfalls angedeutete Gleichartigkeit der Ausbildung in den mittleren Flözteilen wird besonders durch die verstärkte Tonmineralführung unterstrichen. Die Probe Grillo 1/2 zeigt in den untersten Teilen höhere Mineralgehalte als die beiden anderen Schnitte, wobei Tonminerale und später auch Siderit häufiger sind. Außer einer geringmächtigen Anreicherung im unteren Flözdrittel findet sich keine den Mineralbildungen im mittleren Teil der beiden ersten Schnitte vergleichbare Entwicklung.

Dagegen bleibt sogar der Pyritanteil unter 1%. Nach oben hin nimmt er jedoch auch bei Grillo 1/2 allgemein zu und erreicht in der Kennelkohle früher als sonst einen ziemlich hohen Wert. Danach fällt er weniger stark und steigt in den obersten Zentimetern nochmals stark. Außerdem kommen Tonminerale und Siderit in nennenswerten Mengen vor. Sehr auffällig ist das Auftreten von Phosphorit.

In der Zahlentafel 3 sind die Ergebnisse der quantitativen Analysen an Durchschnittsproben zusammengestellt, wobei die Analysenergebnisse auf den Gesamtmineralgehalt = 100% umgerechnet sind. Die Mineralanteile haben in den einzelnen Proben folgende Werte:

	Gew.-%
Friedrich Heinrich	15,0
Prosper II	23,5
Grillo 1/2 (Humuskohle)	9,4
Grillo 1/2 (Sapropelkohle)	22,7

[3] Die röntgenographischen Aufnahmen haben in dankenswerter Weise Dr. R. W. Schliephake und Diplom-Mineraloge S. Pollmann, die infrarotspektroskopischen Untersuchungen Dr. K. F. Luft und Frau Dr. M. Gade, sämtlich Essen-Kray, ausgeführt.

Zahlentafel 3. Der Mineralgehalt der Flözproben.

Zusammensetzung	Anteil in der Probe			
	Friedrich Heinrich Gew.-%	Prosper II Gew.-%	Grillo 1/2 (Humuskohle) Gew.-%	Grillo 1/2 (Sapropelkohle) Gew.-%
Serizit-Illit	0,6	21,9	16,1	39,0
Kaolinit	26,1	14,3	7,3	1,0
Chlorit	Spuren	Spuren	—	—
Quarz-Chalzedon	2,5	7,3	6,7	3,8
Kalzit-Dolomit	19,4	1,0	3,2	—
Ankerit-Siderit	1,9	Spuren	4,0	9,3
Phosphorit-Apatit	0,4	Spuren	2,6	4,3
Pyrit-Hämatit	48,7	52,5	55,7	40,5
Rest	0,3[1]	3,0[2]	3,4[3]	2,0[4]
	99,9	100,0	99,0	99,9

[1] Gips, Zinkblende, unbestimmter Anteil
[2] Gips, unbestimmter Anteil
[3] Steinsalz, unbestimmter Anteil
[4] Gips, unbestimmter Anteil

In allen Proben ist Pyrit mit rd. 50 Gew.-% am stärksten an der Mineralzusammensetzung beteiligt. Danach folgen die Tonminerale mit wechselnden Anteilen an Serizit-Illit und Kaolinit.

Der Mineralgehalt des hangenden Schiefertons

Damit ein Vergleich mit den Flözproben möglich ist, sind für die Untersuchung des Schiefertons aus dem Hangenden im allgemeinen die gleichen Methoden angewendet worden. Nach den beim Entkohlen eingetretenen Gewichtsverlusten ergaben sich folgende reinen Mineralanteile:

	Gew.-%
Friedrich Heinrich	85,0
Prosper II	93,4
Grillo 1/2	82,5

Wie die Zahlentafel 4 zeigt, weicht der Mineralgehalt des Nebengesteins von dem der Kohlenproben

Zahlentafel 4. Der Mineralgehalt des hangenden Schiefertons.

Zusammensetzung	Anteil in der Probe		
	Friedrich Heinrich Gew.-%	Prosper II Gew.-%	Grillo 1/2 Gew.-%
Serizit Illit	57,1	66,0	59,0
Kaolinit	16,7	17,0	14,3
Chlorit	1,0	0,5	2,0
Quarz-Chalzedon	14,1	11,7	14,5
Kalzit-Dolomit	4,9	Spuren	—
Ankerit-Siderit	0,1	Spuren	—
Phosphorit-Apatit	0,4	—	0,3
Pyrit-Hämatit	5,1	3,7	7,3
Rest	0,4[1]	1,1[2]	2,6[3]
	99,8	100,0	100,0

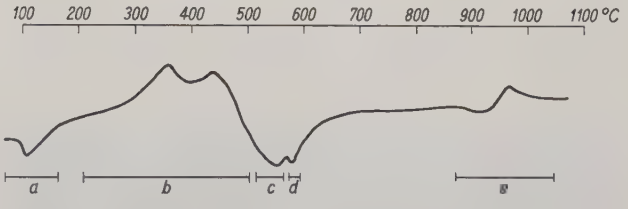
[1] Gips, Steinsalz, unbestimmbarer Anteil
[2] Gips, Steinsalz, unbestimmbarer Anteil
[3] Gips, Feldspatreste, Limonit, unbestimmbarer Anteil

in mehrfacher Weise ab. Zwar treten keine anderen Minerale auf, doch bestehen Unterschiede in der Verteilung. So wird der Hauptanteil von den Tonmineralen gestellt, die zu mehr als Dreiviertel aus serizitisch-illitischem Material bestehen. Den Rest bilden Kaolinit und etwas Chlorit. Nicht nur die absoluten Anteile, sondern ihr Verhältnis zueinander sind in den Schiefertonproben sehr ähnlich. Ebenso schwankt der Quarzgehalt nur in geringen Grenzen. Im Vergleich zu den Kohlenproben ist der Pyritanteil gering.

Besprechung der häufigsten Minerale

Serizit — Illit

Diese Mineralgruppe ist weder chemisch noch strukturell genau festgelegt. Nach Jasmund [41] stellt die Bezeichnung „Illit" einen Sammelbegriff für glimmerartige Tonminerale dar, die von anderen Autoren „Hydroglimmer" genannt werden. Strukturell schließen sich diese an den Muskovit an, aus dessen Zersetzung sie gelegentlich hervorgehen. Wesentlich ist, daß in Richtung der c-Achse stets nur wenige Schichten übereinanderliegen, so daß die Einzelkristalle außerordentlich klein sind [42]. Illit reichert sich deshalb



a Abgabe von Absorptionswasser
b Oxydation von organischen Stoffen
c OH-Abgabe aus Illit
d Umwandlung von Tief- in Hochquarz
e Kristallneubildung aus Illit

Abb. 30. DTA-Kurve der Leichtmineralfraktion des hangenden Schiefertons von Flöz Katharina, Zeche Prosper II.

besonders in den feinsten Fraktionen an, und so zeigt die DTA-Kurve einer unter 12 μ abgeschlämmten Schiefertonprobe von Friedrich Heinrich, die vorher nicht entkohlt worden war, neben etwas kohliger Substanz und Quarz fast ausschließlich Illit (Abb. 30).

Gegenüber dem vielfach zum Vergleich benutzten Illit von Fithian, Illinois [42], sind die endothermen und exothermen Effekte schwächer ausgeprägt und etwas auseinandergezogen, was auf einen schlechten Kristallisationsgrad hindeutet. Neben den sehr kleinen Teilchen kommen jedoch auch größere Einzelkristalle mit schuppenförmigem Umriß vor, die als Serizit anzusprechen sind. Eine quantitative Trennung beider Anteile ist jedoch wegen der fließenden Übergänge zwischen ihnen nicht möglich, weshalb sie zur Serizit-Illit-Gruppe zusammengefaßt worden sind.

Infrarotspektroskopisch wird der Illit vor allem an Hand der OH-Schwingungen in dem Wellenlängenbereich zwischen 2,7 und 3,1 μ, sowie durch die Oktaederschwingungen bei 9,7 μ identifiziert.

Röntgenographisch lassen die Illite der hier untersuchten Mineralauszüge eine enge Verwandtschaft zum Muskovit erkennen. Unterschiede bestehen jedoch darin, daß die beim Muskovit bei 9,98 Å scharf ausgeprägte Basisinterferenz erst bei 10 Å (Intensität = 100) auftritt und etwas verbreitert ist. Auch die anderen Hauptinterferenzen bei 4,45 (Intensität = 100) und 2,56 Å (Intensität = 100) erscheinen auseinandergezogen.

Vergleicht man die chemischen Analysen der Schiefertone (Zahlentafel 5)[4] mit solchen von Illiten, z. B. bei Jasmund [41], so läßt sich eine starke Ähnlichkeit erkennen, was wegen des Vorherrschens von Illit in den untersuchten Proben auch zu erwarten ist.

Bezeichnend dafür sind weniger die Werte für SiO_2, da sie beim Kaolinit gleich sind, sondern für Al_2O_3, die mit rd. 38 % beim Kaolinit höher liegen, für Fe_2O_3 und K_2O, die nur aus dem hohen Illitgehalt erklärlich sind. Zwar ergibt der Mittelwert aus den elf bei Jasmund angeführten Illitanalysen für Fe_2O_3 mit

Zahlentafel 5. Ergebnisse der chemischen Analysen der Schiefertonproben.

Probe	Friedrich Heinrich %	Prosper II %	Grillo 1/2 %
Glühverlust(wf)	18,03	8,70	32,85
SiO_2	45,40	50,33	32,13
Fe_2O_3	5,39	2,64	12,40
FeO	0,11	1,46	0,65
Al_2O_3	21,17	26,39	15,11
TiO_2	0,70	0,86	0,50
CaO	1,68	0,27	0,79
MgO	1,64	1,77	1,05
Na_2O	1,12	0,79	0,62
K_2O	3,40	4,84	2,48
SO_3	0,90	1,77	1,25
P_2O_5	0,46	0,18	0,17
Sulfid-Schwefel	1,07	0,18	5,12

4,57 % einen geringeren Anteil als die hier untersuchten Schiefertonproben, wo er im Mittel 8,10 % beträgt, doch ist das auf den hohen Fe_2O_3-Gehalt in der Probe Grillo 1/2 zurückzuführen, in den zusätzlich noch ein gewisser Limonitanteil eingeht.

Die beiden anderen Werte entsprechen den von Jasmund gegebenen Mittelwerten oder liegen etwas darunter, wofür der Kaolinitgehalt verantwortlich ist.

Unabhängig von den zahlreichen sich widersprechenden Auffassungen zur Frage der Entstehung des Illits — eine Zusammenfassung gibt Jasmund [41] — bestehen keine Zweifel darüber, daß er das Hauptmineral der marinen und brackischen Tone ist [42, 43].

Kirsch und Stratmann [44] kommen auf Grund von Untersuchungen der Alkalilöslichkeit an Schiefertonen des Ruhrkarbons zu dem Schluß, daß der Illit als Verwitterungsrest anzusehen ist, wobei sie der Entstehung aus serizitisiertem Feldspat den Vorzug geben.

Anderseits kann Illit auch aus Kaolinit und besonders Montmorillonit entstehen, womit das Fehlen von Montmorillonit und das Zurücktreten von Kaolinit in den hier untersuchten marinen Schiefertonen erklärt werden könnte. Allerdings sind die auftretenden Fossilien meist klein und pyritisiert, so daß sie Hinweise auf eine Kümmerfauna infolge einer geringen Salinität des Meerwassers geben könnten. Der eventuell unter dem Normalwert für Meerwasser liegende Salzgehalt deutet sich auch im Auftreten von Kaolinit an, der im marinen Milieu nur kurze Zeit beständig ist [42]. Immerhin reichte die Salinität für eine frühe Bildung von Dolomit aus. Das schließt aber zugleich eine Neubildung von Kaolinit aus, der niemals in Gegenwart von Ca^{++} entsteht. Man kann daher eine Kaolinitisierung vor der Sedimentation annehmen. In den Kohlenproben tritt Illit in wechselnden Mengen auf. An eine Neubildung ist wohl kaum zu denken, da sich die Torflager gewiß nicht in einem echten marinen Milieu gebildet haben. Wohl ergeben sich aber aus den Untersuchungen Hinweise, daß zumindest in der Faulschlammkohle von Grillo 1/2, wo auch die größten Illitanteile auftreten, Brackwassereinflüsse angenommen werden können. Daher erscheint es als sehr wahrscheinlich, daß die Illite hier frühe Verwitterungsreste darstellen, die je nach dem Maß der Auslaugung von K^+ mehr oder weniger stark in Kaolinit umgebildet worden sind. Die Kaolinitisierung hat weitgehend bereits auf dem Transport stattgefunden und ist wohl z. T. nach der Sedimentation im Moor noch weitergegangen. Der Kaolinitüberschuß in der Flözprobe Friedrich Heinrich deutet jedenfalls darauf hin. In der Probe Grillo 1/2, wo besonders im oberen Teil Illit überwiegt, ging vermutlich der Sedimentation nur eine kurze Transportzeit voraus, so daß die zugeführte Tontrübe noch vorwiegend aus Illit bestand und marine oder brackische Einflüsse eine weitere Kaolinitisierung verhinderten. Die Probe Prosper II zeigt Übergänge zwischen diesen beiden Entwicklungen.

Einschränkend zu diesen Auffassungen muß jedoch betont werden, daß der hier sicherlich nicht unerhebliche Einfluß der Huminsäuren auf die Tonmineralentstehung noch weitgehend ungeklärt ist.

Kaolinit

Er ist triklin, bildet aber meistens pseudohexagonale Schuppen und Blättchen, die zwar sehr dünn sind, aber parallel zu (001) einen Durchmesser von mehreren Mikron haben können. Solche isolierten Individuen sind in Streupräparaten mehrfach zu finden. Wie sich aus der Untersuchung von Dünnschliffen ergibt, durchsetzt der Kaolinit die illitische Grundmasse und

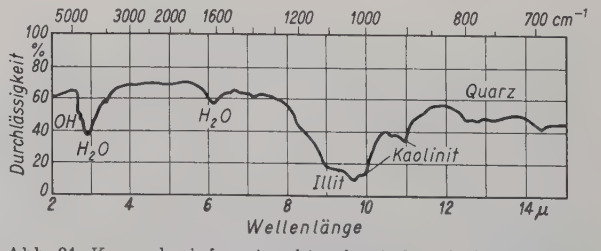


Abb. 31. Kurve der infrarotspektroskopischen Aufnahme des hangenden Schiefertons von Flöz Katharina, Zeche Prosper II.

kommt auch in Form von Nestern und zusammengewachsenen Aggregaten vor. Die gelegentlich beschriebenen und abgebildeten „Kaolinwürmer", die durch Zusammenlagerung der Basisflächen von Einzelkristallen entstehen, sind in den untersuchten Proben nur selten und dann meist undeutlich erkennbar. Im Infrarotspektrum sind für Kaolinit die Absorptionen zwischen 2,72 und 2,75 μ (OH-Schwingungen), bei 3,2 (Adsorptionswasser), 9 bis 11 (SiO-Schwingungen) und zwischen 12,5 und 14,5 μ (SiO-Gerüstschwingungen) typisch (Abb. 31).

[4] Die chemischen Analysen sind unter Leitung von Dr. K. Stratmann von der Bergbau-Forschung GmbH. angefertigt worden, wofür ihm auch an dieser Stelle gedankt sei.

Die röntgenographisch ermittelten Hauptinterferenzen (Intensitäten = 100, 100 und 100) liegen bei 7,15, 3,57 und 2,33 Å.

Auf die Genese des Kaolinit ist bereits eingegangen worden.

Chlorit

In den Mineralauszügen der Kohle ist Chlorit nicht vorhanden oder nur spurenhaft angedeutet. Ebenso tritt er im Schieferton nur spärlich auf, fehlt aber in

Abb. 32. Chlorit mit Serizit, verwachsen in serizitisch-illitischer Grundmasse des hangenden Schiefertons von Flöz Katharina, Zeche Friedrich Heinrich; v = 250. Durchlicht.

keiner der untersuchten Proben. Er bildet dort gut erkennbare Schuppen (Abb. 32), die im Durchschnitt 20 bis 40, nicht selten sogar über 100 μ lang sind.

Die meisten löschen gerade aus, und nur gelegentlich beobachtet man eine geringe Abweichung. Der optische Charakter der Längsrichtung ist positiv. Die Lichtbrechung konnte nicht genau bestimmt werden, sie liegt über 1,56. Die Doppelbrechung ist sehr gering. Es herrscht ein sehr schwacher Pleochroismus vor, der von farblos über lichtgrün nach fahlgelb geht. Wegen der geringen Chloritanteile in den Proben ist seine nähere Kennzeichnung auf röntgenographischem, infrarotspektroskopischem und differentialthermoanalytischem Wege nicht möglich. Nach den optischen Daten handelt es sich um einen eisenarmen Prochlorit [45].

Zur Frage nach seiner Entstehung ist zu bemerken, daß er fast immer zusammen mit Serizit vorkommt. Häufig geht Serizit randlich in Chlorit über, wobei nicht nur Chloritsäume um Serizitschuppen, sondern auch Verdrängungen von Serizit durch Chlorit von innen her auftreten. Daher liegt die Annahme nahe, daß Chlorit durch Zufuhr von Eisen und Magnesium während der Diagenese aus Serizit entsteht.

Quarz — Chalzedon

Quarz ist in den Schiefertonproben mit 13,5 % und in den Mineralauszügen der Kohle mit 5,1 % vorhanden. Diese Angaben stellen Mittelwerte dar, die sich aus den Zahlentafeln 3 und 4 ergeben. Die dort angeführten Prozentzahlen sind aus den Ergebnissen der infrarotspektroskopischen Untersuchungen ermittelt.

Die mikroskopisch erkennbaren Körner stellen in der Hauptsache eingeschwemmtes Material dar, was sich aus ihrer leicht rundlichen Form ergibt. Ihre Größe kann mehrere hundert Mikron betragen. Flüssigkeitseinschlüsse, zum Teil mit Libelle, weisen auf eine primäre magmatische Entstehung hin. Daneben ist ein Teil des mikroskopisch erfaßbaren Quarzes als sekundär, d. h. in situ gebildet, aufzufassen. Das ist besonders deutlich, wenn sedimentierte Körner später weitergewachsen sind, wobei der ursprüngliche Umriß erhalten blieb. Zu einer solchen Abscheidung bedarf es der Zirkulation wässeriger Lösungen von Kieselsäure, die beim Zerfall saurer Silikate frei wird. Dabei scheint ein großer Teil der Kieselsäure bereits zwischen den Tonmineralen festgehalten und dort in feiner Verteilung gelartig ausgefällt zu werden, so daß dieser Anteil mikroskopisch kaum erfaßbar ist. Opal hat sich nicht eindeutig feststellen lassen, das Auftreten von Chalzedon kann demgegenüber als sicher gelten, da in den Streupräparaten der Leichtminerale häufig winzige Konkretionen gefunden worden sind, die eine Lichtbrechung zwischen 1,535 und

Abb. 33. Chalzedon im Streupräparat vom Leichtmineralauszug des Flözes Katharina, Zeche Grillo 1/2; v = 1000. Durchlicht, gekreuzte Nicols.

1,540 haben, radialstrahlig aufgebaut sind, wie das stehende Auslöschungskreuz beim Drehen des Mikroskoptisches unter gekreuzten Nicols zeigt (Abb. 33). Die Längsrichtung der Kristallfasern ist optisch negativ.

Karbonspäte

Kalzit hat sich nur in wenigen Fällen röntgenographisch nachweisen lassen. Während er in den anderen Proben nur spurenhaft oder gar nicht auftritt, ist er lediglich sowohl in der Kohle als auch im hangenden Schieferton von Friedrich Heinrich, wo Karbonspat überhaupt häufiger als sonst vorkommt, etwas angereichert. Den größten Anteil hat auch hier Dolomit, der entsprechend Abb. 34 in der Kohle vornehmlich als epigenetische Spaltenfüllung erscheint. Er tritt häufig in Form mehr oder weniger vollständiger Rhomboeder auf, die im Auflicht unter Ölimmersion mittelgrau gefärbt sind, mit einem leichten Stich ins Bräunliche. Im polarisierten Licht zeigen sie Innenreflexe. Auch im Schieferton kommen idiomorphe Dolomitrhomboeder vor. Ihre Hauptachse erreicht eine

Abb. 34. Epigenetischer Dolomit im Flöz Katharina, Zeche Friedrich Heinrich; v = 200. Hellfeld, Ölimmersion, 1 Nicol.

Länge bis zu 100 μ. Für die Frage nach ihrer Entstehung erscheinen folgende Beobachtungen wertvoll:

Die Längsachse der Rhomboeder liegt nicht immer in der Schichtebene, sondern nimmt ihr gegenüber alle Lagen ein. Die Kristalle, deren Längsachsen nicht parallel oder senkrecht zur Schichtebene liegen, sind vielfach deformiert und zeigen häufig Rotationserscheinungen, die so zu erklären sind, daß die ehemals schräg zur Schichtung orientierten Längsrichtungen während der Diagenese mechanisch durch Druckerhöhung in die horizontale Richtung umgelenkt wurden.

Dazu kommt die Beobachtung, daß durchgehende markante Tonmineral- oder Kohleschlieren vor jedem Dolomitkristall (für Pyrit und terrigene Quarzkörner trifft das ebenfalls zu) auseinanderweichen und sich anschließend wieder auf den ursprünglichen Abstand nähern. Infolgedessen läßt sich die Setzung für das umgebende Material errechnen. Aus 20 Einzelmessungen an undeformierten Rhomboedern ergibt sich ein Mittelwert von 56 % für den Volumenverlust des Schiefertons. Auf Grund von zehn Messungen an Pyrit wurden 50 % festgestellt, an Quarzkörnern 60 %. Diese Werte liegen in dem Bereich, den R. Teichmüller [46] für die Setzung der Schiefertone des Ruhrkarbons aus makroskopischen Beobachtungen ermittelt hat, und machen eine prä- oder frühdiagenetische Entstehung der Dolomiteinlagerungen wahrscheinlich. In diesem Zusammenhang sind die Untersuchungen von Aldermann und Skinner [47] an rezenten Sedimenten in Südostaustralien bemerkenswert, nach denen die Dolomitentstehung bei hohem p_H-Wert durch Pflanzenwachstum in flachem Salzwasser gefördert wird. Daneben gibt es zu den Dolomitvorkommen im Ruhrkarbon zahlreiche Untersuchungen [21, 48, 49, 50, 51], aus denen hervorgeht, daß sie frühe Bildungen darstellen.

Neben diesen mikroskopisch kleinen Abscheidungen treten in der Probe Friedrich Heinrich auch größere Konkretionen auf, wie Abb. 35 zeigt.

Der Außenrand wird von Pyrit gebildet. An der rechten Seite der Konkretion ist ebenfalls die starke Setzung des tonigen Materials erkennbar.

Unter Zunahme der Eisenführung geht Dolomit in *Ankerit* über. Er scheint in der Kohle hauptsächlich als epigenetische Spaltenfüllung neben Dolomit vorzukommen, doch tritt er gegenüber diesem an Häufigkeit zurück.

Siderit ist dagegen als syngenetische Bildung verbreitet. Er ist besonders in der Kennelkohle von Grillo 1/2 angereichert, wo er sowohl in Form radialstrahliger Konkretionen, als auch in mehr oder weniger idiomorphen Einzelkristallen erscheint. Im Anschliff läßt er sich unter Ölimmersion durch seine Braunfärbung von den anderen Karbonspäten unterscheiden, die bei Dunkelfeldbeleuchtung besonders intensiv ist. Bei den feinkonkretionären Aggregaten ist gelegentlich eine beginnende Umwandlung in Limonit erkennbar.

Phosphorit — Apatit

Beide Begriffe bezeichnen keine grundsätzlich verschiedenen Minerale, sondern weisen vor allem auf genetisch bedingte morphologische Unterschiede hin. So ist nach Tröger [52] Phosphorit ein „Sammelbegriff für primär gelförmig ausgeschiedene Phosphate, die zum Teil oder gänzlich kristallin geworden sind und dann apatitartige Optik zeigen".

Die festgestellten Phosphorite bestehen entweder überwiegend aus radialstrahlig angeordneten faserigen Apatitnädelchen, wodurch sich besonders die Mehrzahl der sehr kleinen rundlichen Konkretionen auszeichnet, oder es herrscht ein optisch isotroper Kollophan vor, der unregelmäßig verstreute Nester von stärker rekristallisiertem Apatit enthält. Das ist besonders in den Phosphoritlinsen der Fall, die im oberen Teil der Flözprobe Grillo 1/2 gehäuft auftreten. Die Linsen sind vorwiegend flach und von mikroskopischen Dimensionen bis zu 30 mm Länge bei einer maximalen Stärke von 6 mm (Abb. 36). Ihre Farbe ist bei makroskopischer Betrachtung glänzend schwarz. Im mikroskopischen Anschliffbild sind sie

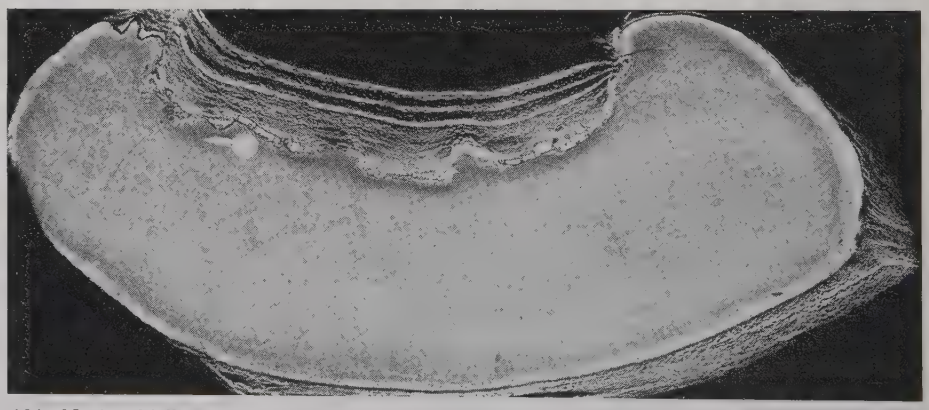


Abb. 35. Anschliff einer Dolomitknolle aus dem Hangenden von Flöz Katharina, Zeche Friedrich Heinrich; v = 2. Milar.

Abb. 36. Phosphoritlinse in der Kennelkohle des Flözes Katharina, Zeche Grillo 1/2; v = 10. Milar.

unter Ölimmersion mittelbraun gefärbt mit braunschwarzen Flecken. Nicht selten tritt eine achatartige Bänderung auf. Die Farbunterschiede sind auf Einschlüsse von humosen Substanzen und feinsten Pyritimprägnationen zurückzuführen. Neben muscheligem Bruch läßt sich gelegentlich eine glaskopfartige Struktur erkennen. Der Brechungsindex beträgt 1,618 und das spezifische Gewicht 3,19.

Nach den Ergebnissen der Debeye-Scherrer-Aufnahme handelt es sich um Hydroxylapatit.

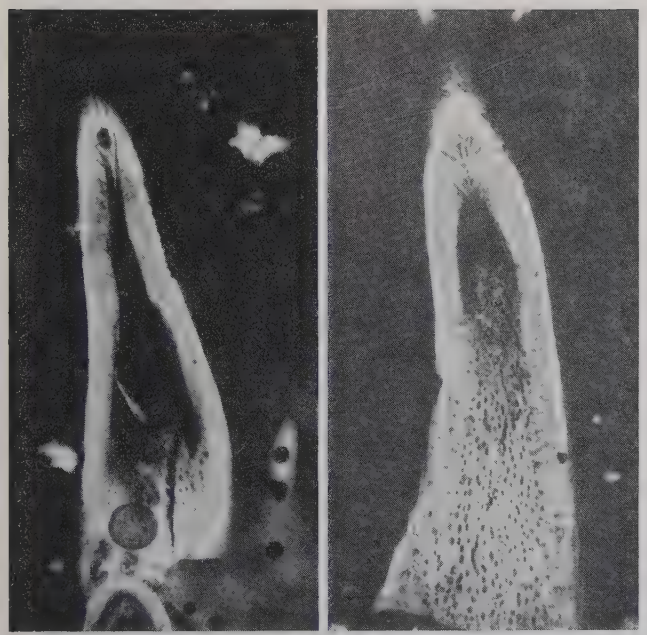


Abb. 38. Fischzähne (?) in der Kennelkohle des Flözes Katharina, Zeche Grillo 1/2; v = 500. Durchlicht.

Für eine Beurteilung der Bildungsumstände der Phosphoritanreicherungen sind folgende Beobachtungen wichtig:

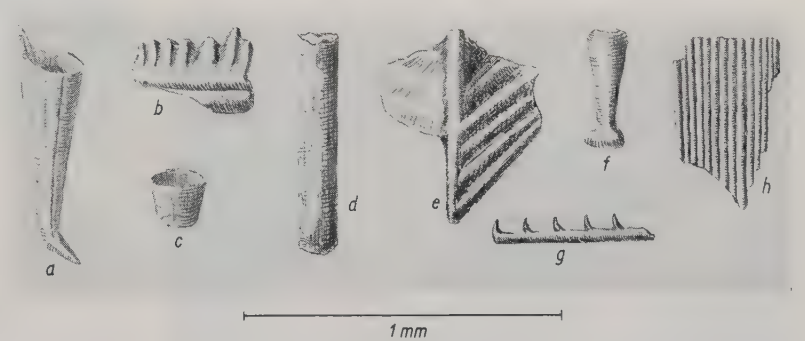
a) Die Anreicherungen treten in einem Horizont auf, der als eine subaquatische Bildung mit streng anaerobem Charakter angesehen werden muß.

b) Phosphorit ist an Stellen angereichert, wo karbonatische und sulfidische Minerale häufig sind.

c) Zusammen mit dem Phosphorit konnten aus dem Entkohlungsrückstand organische Reste isoliert werden, die teils aus phosphatisierten Pflanzenteilen bestehen, teils aber auch tierische Reste darstellen, wie Bruchstücke von Schalen (Abb. 37 h), Innenskeletteilen (Abb. 37 c und d) sowie von Conodonten (Abb. 37 b und g); Abb. 37 f könnte eine Foraminifere sein.

Ferner konnten in Dünnschliffen vereinzelt Strukturen beobachtet werden, die als winzige Zähne, wahrscheinlich von Fischen, zu deuten sind (Abb. 38).

d) Die Phosphoritlinsen treten in einem Bereich auf, in dem „unfiguriertes Bitumen" vorherrscht, auf dessen wahrscheinliche Abkunft von tierischer Substanz bereits hingewiesen worden ist.



a, f Foraminiferen (?) b, g Conodonten c, d Innenskeletteile e, h Schalenbruchstücke

Abb. 37. Aus dem Schwermineralauszug der Kennelkohle (Flöz Katharina, Zeche Grillo 1/2) ausgelesene Mikrofossilien.

Nach seiner ganzen Erscheinungsform steht es außer jedem Zweifel, daß der Phosphorit in der Kohle neu gebildet ist. Im Schrifttum waren keine Angaben über ähnliche Vorkommen zu finden, abgesehen von gelegentlichen Hinweisen auf das Auftreten von Apatit, vor allem in den Tonsteinen mancher Flöze [z. B. 53, 54, 55]. Ungeachtet sonstiger gegensätzlicher Meinungen herrscht unter der Mehrzahl der Autoren Einigkeit darüber, daß die Entstehung sedimentärer Phosphorite, wenn sie nicht auf Guano zurückgehen, nur im marinen Milieu möglich ist [43, 56, 57, 58]. Nun

Zahlentafel 6. Netzebenenabstände und Intensitäten von Phosphorit in Kennelkohle der Probe Grillo 1/2.

d Å	I	d Å	I	d Å	I
3,92	ss	2,006	ss	1,310	ss
3,44	m	1,936	s	1,280	ss
3,17	s	1,885	ss	1,236	s
3,08	s	1,838	m	1,216	ss
2,81	sst	1,804	s	1,159	ss
2,72	st	1,772	s	1,147	ss
2,63	m	1,750	s	1,120	ss
2,532	ss	1,720	s	1,109	ss
2,427	ss	1,633	ss	1,101	ss
2,300	ss	1,537	ss	1,045	ss
2,254	s	1,503	ss	1,025	ss
2,219	ss	1,472	ss	1,013	ss
2,140	ss	1,451	s	1,002	ss
2,064	ss	1,428	ss	0,960	ss
				0,950	s

sst = sehr stark, st = stark, m = mittel, s = schwach, ss = sehr schwach.

ergeben sich aus dem Vorkommen von Conodonten und vielleicht Foraminiferen Hinweise auf einen zumindest vorübergehenden marinen Einfluß. Entsprechend dem Fehlen größerer Skeletteile ist es naheliegend, den größten Anteil am Stoffangebot aus Kleinlebewesen planktonischer Art zu beziehen, womit zugleich eine Erklärung für das starke Vorherrschen von „unfiguriertem Bitumen" gegeben wäre. Anlaß und Voraussetzung für die Anhäufung einer solchen Menge von Abbauprodukten kann ohne Schwierigkeit in einer vorübergehenden Ingression des Meeres in ein sonst süßwasserbetontes, vielleicht lagunäres Wasserbecken sein.

Größere selbständige Apatitkristalle sind besonders im hangenden Schieferton verbreitet, jedoch kommen sie nirgendwo häufig vor. Sie bilden isolierte, meist kurzsäulige Prismen, die häufig winzige Skelettfragmente als Kristallisationskeime umschließen. Daneben

Abb. 39. Orientierte Aufwachsungen von Apatit auf Skelettrest im hangenden Schieferton von Flöz Katharina, Zeche Friedrich Heinrich; v = 400. Durchlicht.

erscheinen auch orientierte Aufwachsungen von Apatit auf Skeletteilen (Abb. 39). Ihre Farbe ist im Durchlicht milchig-weiß. Gelegentlich sind sie anomal schwach zweiachsig.

Pyrit — Hämatit

Hämatit ist in den Kohlenproben primär nicht vertreten, dagegen ist ein Teil des Pyrits durch Oxydation beim Entkohlen in Hämatit umgewandelt worden. Auch das Nebengestein enthält nur untergeordnet Hämatit neben Limonit.

Am verbreitetsten ist der syngenetisch gebildete Pyrit, seine mengenmäßige Verteilung im Flöz ist jedoch sehr unterschiedlich, wie Abb. 29 gezeigt hat. Er tritt meistens in Form sehr kleiner Konkretionen auf, deren Durchmesser zwischen Bruchteilen von einem Mikron und ungefähr 10—20 Mikron schwanken (s. Abb. 24). Größere Aggregate sind fast immer durch den Zusammenschluß mehrerer Einzelindividuen entstanden.

Lediglich im Schieferton, wo Pyrit zum Teil durchgehende Lagen bildet, kommen auch größere Kristalle vor, die zuweilen idiomorph sind und Kombinationen von (100), (111) und (210) zeigen. Außerdem sind die Fossilien mit Pyrit überzogen. In der Kohle lassen sich nur selten Kristallflächen an meistens sehr kleinen Individuen erkennen. Verbreitet sind dagegen tröpfchen- oder knötchenförmige Bildungen, die zuweilen schalig aufgebaut sind. Zwischen den einzelnen Schalen kann sich gelegentlich anderes Material befinden, wie Abb. 40 zeigt. Es kann wegen der geringen

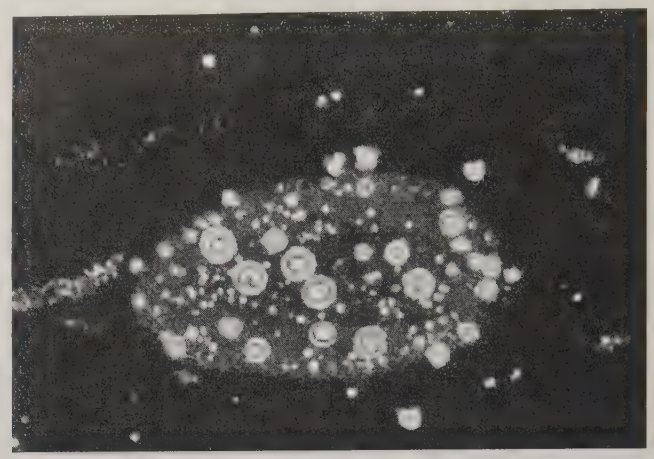


Abb. 40. Schalige Pyritkonkretionen im Flöz Katharina, Zeche Grillo 1/2; v = 500. Hellfeld, Ölimmersion.

Größe der Objekte nicht eindeutig identifiziert werden. Möglicherweise handelt es sich um Zinkblende oder Siderit. So konnte Stach [59] ähnliche Gebilde im Piesberg-Anthrazit als rhythmische Ausfällungen von Pyrit und Zinkblende identifizieren.

Die synsedimentäre Entstehung des bisher besprochenen Pyrits geht nicht nur aus seiner ganzen Erscheinungsweise, sondern auch aus seiner Verteilung im

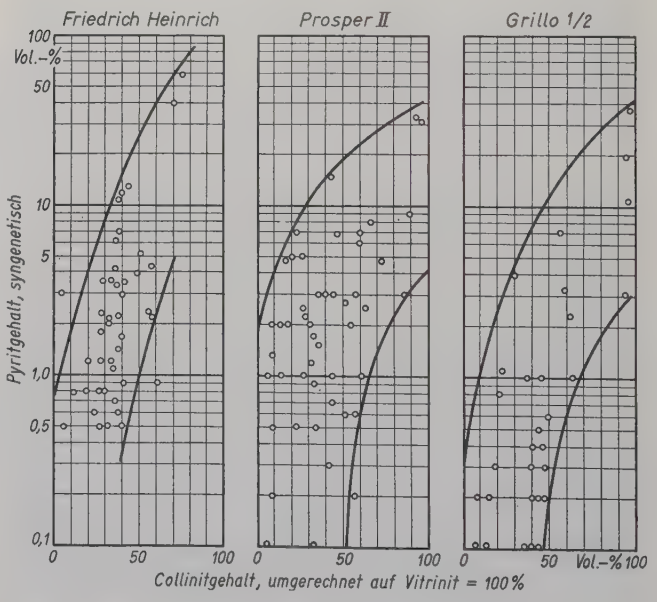


Abb. 41. Beziehungen zwischen Pyrit- und Collinitgehalt in den drei Proben.

Flöz hervor. Vergleicht man diese mit dem relativen Collinitgehalt, so lassen sich Parallelen erkennen. In Abb. 41 sind beide Gehalte in einem Koordinatensystem gegeneinander aufgetragen. Die Ordinate hat eine logarithmische Einteilung. Unter Berücksichtigung einer verständlichen Streuung der Werte läßt

sich feststellen, daß hohe Gehalte an syngenetischem Pyrit stets an viel Collinit gebunden sind, was sich aus dem gemeinsamen Bildungsmilieu ergibt. Wie sich ferner häufig beobachten läßt, weichen durchgehende Lagen von Mikrosporen vor größeren Pyritkonkretionen auseinander und nähern sich danach wieder auf den ursprünglichen Abstand.

Wie für den Schieferton läßt sich in gleicher Weise auch für den Pyrit die Setzung des umgebenden Materials berechnen. Sie beträgt 80 bis 90%. M. Teichmüller [21] hat an Torfdomoliten die Setzung des Pflanzenmaterials bestimmt und kommt dabei auf einen Volumenverlust von 85%, was im Gegensatz zu der sehr erheblich geringeren Setzung des Torfes in den Knollen selbst wiederum für eine frühe Dolomitisierung spricht. Wegen der gleichen Setzungsfaktoren liegt es sehr nahe, auch für den Pyrit eine frühe Entstehung anzunehmen, die ungefähr gleichzeitig mit der Collinitbildung am Orte seines heutigen Auftretens stattgefunden hat. Ein großer Teil des syngenetischen Pyrits dürfte aus Melnikovit hervorgegangen sein, wofür die Gelstruktur spricht (s. auch Mackowsky [61, 62]). Der kleinere Pyritanteil, der Kristallumrisse zeigt, ist dagegen sicher als Pyrit entstanden.

Für eine Pyritentstehung aus ursprünglich abgeschiedenem Markasit finden sich keine eindeutigen Beweise. Markasit ist einmal in einer walnußgroßen Konkretion im Liegenden des Flözes auf Grund der Probe Prosper II festgestellt worden. Er tritt dort zusammen mit Pyrit und verkiesten Pflanzenresten in Form von verwachsenen Sphärolithen auf, wobei die markasitischen Zonen von der pyritischen Grundmasse scharf abgesetzt sind und nichts von einer Umwandlung in Pyrit erkennen lassen.

Epigenetischer Pyrit ist besonders in den oberen, weniger in den unteren Flözteilen angereichert. Die Flözmitte ist stellenweise völlig frei davon. Die das Nebengestein durchsetzenden Klüfte enthalten nur sehr selten Schwefelkies. Die Pyritführung beginnt erst mit ihrem Eintritt in die Kohle und verliert sich dann bald wieder.

Von den weniger häufigen Mineralen seien hier noch Gips und Steinsalz genannt. Beide bedecken gelegentlich in Form winziger Kristalle die Kluft- und Schichtflächen von Kohle und Nebengestein. In diesen beiden Mineralien sind Abscheidungen aus Solen zu vermuten, die aus den nahegelegenen Zechsteinablagerungen in das Karbon eingewandert sind.

Besprechung der Ergebnisse

Die vorliegende Arbeit hat sich um eine möglichst umfassende rohstoffliche Kennzeichnung von drei Schnittsäulen des Flözes Katharina nach petrographischen Gesichtspunkten bemüht, um auf diese Weise mit größerer Sicherheit als bisher zu Fragen der Flözbildung Stellung zu nehmen. Zu diesem Zweck sind sehr unterschiedliche Untersuchungsmethoden angewendet worden, deren Ergebnisse abschließend in einen größeren Rahmen eingefügt werden und so den faziellen Wechsel während und nach der Bildung des Flözes Katharina rekonstruieren sollen. Es versteht sich von selbst, daß solche Aussagen nur für die unmittelbare Umgebung der Probeentnahmestellen verbindlich sind. Für die genetische Deutung sind daher, soweit sie sich auf paläogeographische Fragen stützt, die stratigraphischen und faziellen Untersuchungen von Bartenstein [63], Degens [64], Fiebig [65, 66], Hahne [67, 68, 69], Jessen [2], Jessen, Kremp und Michelau [11], Köring [1], Oberste-Brink und Bärtling [70], Rabitz [71], Schwarzbach [72], R. Teichmüller [3, 46] und andere berücksichtigt worden.

Das liegende Nebengestein

Im Liegenden der Flözproben findet sich ein milder, grauer, toniger Wurzelboden, der im oberen Teil dunkel und pyritreich wird. Besonders in den Proben Prosper II und Grillo 1/2 sind die obersten Zentimeter durch feinverteilten Schwefelkies und Kohleschmitzen schwarz gefärbt. Sie enthalten keine Stigmarien und sind im Gegensatz zu dem schichtungslosen Wurzelboden schwach geschichtet. Wahrscheinlich hat zwischen der ersten Ausbildung einer Pflanzendecke und der Torfentstehung ein Wassereinbruch stattgefunden, der toniges und pflanzliches Material in das betroffene Gebiet geschwemmt hat. Für die Frage nach der Ursache der Moorbildung erscheinen folgende Ergebnisse beachtenswert:

1. Tonschmitzen und Brandschieferlagen, die in den untersten Flözteilen auftreten, gehen bereits wenige Zentimeter über der untersten Grenze der Flözproben zurück und verschwinden teilweise ganz. Darin liegt der Hinweis, daß zu Beginn der Anhäufung von pflanzlichem Material noch in größerem Umfange terrigene Verwitterungsreste in den Torfbildungsraum eingeschwemmt wurden, als es später der Fall war.

2. Mit den Toneinlagerungen sind häufig Bruchstücke von Fusinit und besonders Semifusinit vergesellschaftet. Die Zellhohlräume des letztgenannten sind meistens mit Ton gefüllt. Für die Genese des Semifusinits wurde daraus geschlossen, daß seine unter aeroben Bedingungen begonnene Bildung durch die Verfrachtung in ein anaerobes Milieu unterbrochen wurde, wobei es zu einer partiellen Collinitisierung kam.

3. In den oberen Teilen des Wurzelbodens steigt der Gehalt an syngenetischem Schwefelkies stark an und geht erst in den unteren Flözpartien wieder zurück. Da dieser Pyrit synsedimentär bis spätestens frühdiagenetisch gebildet wurde, wie sich aus den Setzungserscheinungen des umgebenden Materials erkennen läßt, deutet seine Anreicherung auf eine strenge Anaerobie innerhalb des Sedimentationsraumes infolge stärkerer Wasserbedeckung hin.

4. Mazerale und Minerale werden von einer vitrinitischen Grundmasse umgeben, die in den unteren Flözteilen ziemlich reich an Collinit ist. Collinit bildet sich nur unter anaeroben Verhältnissen, so daß auch darin ein Hinweis auf die Torfbildung unter Wasserbedeckung liegt.

Wie man daher annehmen kann, fand die Flözentwicklung zwar auf einem allgemein sinkenden Untergrund statt, jedoch haben Verlandungserscheinungen erst die unmittelbare Voraussetzung für die Ausbreitung des Katharina-Moores geschaffen. Hier sei auf die „Deltatheorie" verwiesen, nach der noch

heute häufig Sümpfe und Moore aus verlandenden Haffen und Deltaseen hervorgehen (vgl. auch Köring [1]).

Im Zusammenhang mit den hier vorgelegten Untersuchungsergebnissen bedeutet diese Auffassung, daß infolge des Aufbaues immer weiter in das Meer hineinwachsender flacher Deltakegel ausgedehnte lagunäre und lakustrine Stillwassersenken entstanden, die sich allmählich mit Schlick auffüllten und so zur Moorentwicklung Anlaß gaben. Dazwischen blieben offene Wasserflächen zurück, die je nach ihrer Speisung mit Grundwasser oder ihrer Lage im Bereich mäandrierender Flüsse sich ständig veränderten. Durch die Zufuhr von Schlamm durch solche träge dahinfließenden Flüsse ist wohl die Entstehung des geschichteten stark kohlehaltigen Basisschiefers im Bereich von Prosper II und Grillo 1/2 entstanden.

Die Flözschnitte

Das Flöz ist feinstreifig aufgebaut, was einen raschen Wechsel der Sedimentationsbedingungen andeutet. Solche kurzfristigen Faziesänderungen sind in einem Gebiet, das häufig seine Form und Gestalt wechselt, verständlich und bedürfen keiner tektonischen Erklärung. Nach den makroskopischen Flözschnitten und mikroskopischen Flözanalysen sind die Proben Friedrich Heinrich und Prosper II trotz der großen Entfernung von rd. 30 km, die zwischen den Entnahmestellen liegt, erstaunlich ähnlich aufgebaut, so daß die Genese in großen Zügen gleichlaufend gewesen sein dürfte. In beiden Proben läßt über der Basis die Mineralführung schnell nach, und es kommt zu einem Vorherrschen von telinitischem Vitrinit in der Grundmasse. In Richtung auf die Flözmitte nimmt der relative Collinitgehalt wieder zu. Zugleich werden die inertinitischen Mazerale häufiger. Unter genetischen Gesichtspunkten betrachtet scheint in dieser Assoziation ein Widerspruch zu liegen, da Collinit nur unter anaeroben Verhältnissen gebildet wird, während an der Bildung der Einzelmazerale des Inertinits Luftsauerstoff in wechselndem Maße beteiligt ist. Anderseits wird auch die Mineralführung (besonders Ton) stärker, so daß wiederum mit einer allgemeinen Wasserbedeckung des Bildungsraumes sowie mit horizontalen Materialverdriftungen zu rechnen ist.

Als Maßstab für die Fazies kommt der Grundmasse, also dem Collinit, die größte Bedeutung zu, da auf den Sedimentationsraum bezogen alle anderen Anteile als hypautochthon oder allochthon angesehen werden müssen. In der Flözmitte verschwindet Telinit fast ganz, Durit und Zwischenstufen herrschen vor, Toneinschwemmungen werden so häufig, daß in der Probe Prosper II sogar makroskopisch Brandschiefer festgestellt wurde. Danach gehen alle subaquatischen Bildungen rasch zurück, und es wiederholt sich der gleiche Entwicklungsgang wie vorher. Vitrit überwiegt zunächst und wird dann allmählich wieder von Durit und Zwischenstufen mit collinitischer Grundmasse verdrängt. Zugleich nimmt der Gehalt an syngenetischem Schwefelkies zu. Ein Entwicklungsgang, der sich über so große Entfernungen hinweg nicht ändert, läßt nur eine tektonische Deutung zu. Vermutlich verstärkte sich die Senkungsgeschwindigkeit des Untergrundes während der Torfablagerung allmählich und erreichte ein vorläufiges Maximum, als ungefähr die Hälfte der zur Sedimentation des Flözes Katharina erforderlichen Zeit in den betrachteten Gebieten vergangen war. Danach verringerte sie sich, kam möglicherweise kurzfristig zum Stillstand und nahm gegen Ende des Moorstadiums wieder zu, was dann schließlich zur Transgression des Meeres führte.

Die aus dem östlichen Teil des Ablagerungsraumes stammende Probe Grillo 1/2 zeigt diesen Entwicklungsgang nicht so deutlich. Die Mazerale der Inertinitgruppe haben im ganzen einen geringeren Anteil an der Flözzusammensetzung, und nur im unteren Drittel des Schnittes reichern sie sich zusammen mit Ton und Pyrit an. Es ist möglich, daß sich dort gleichfalls die nach den beiden anderen Proben in der Flözmitte erkennbare verstärkte Senkung abgezeichnet hat. Für Friedrich Heinrich und Prosper II besteht kein Zweifel an dem gleichzeitigen Ablauf der tektonischen Ereignisse. Wollte man das auch auf Grillo 1/2 übertragen, dann müßte in der Darstellung der Schnitt gegenüber den beiden anderen nach oben verschoben werden.

Auch aus einem weiteren Grund scheint man damit den natürlichen Verhältnissen nahe zu kommen. So ist in den Schnitten eines der auffälligsten Merkmale die Anreicherung von Schwefelkies, bei Friedrich Heinrich und Prosper II 7 bis 10 cm und bei Grillo 1/2 16 bis 18 cm unter der Flözoberkante. Die Ähnlichkeit in der Menge und Verteilung des Pyrits in den beiden ersten Proben läßt vermuten, daß ein gemeinsamer Vorgang gewirkt hat, der zu einer großräumigen Wasserbedeckung des Torfes führte. Eine zeitliche Parallelisierung der Schwefelkiesanreicherung in Grillo 1/2 bietet sich um so leichter an, als dort die Pyritbildung als Einleitung einer unter besonderen Verhältnissen entstandenen Faulschlammbildung aufgefaßt werden muß. Eine in dieser Weise geforderte Vertikalverschiebung des Schnittes Grillo 1/2 bedeutet dann eine Zeitdifferenz für Beginn und Ende des Moorstadiums gegenüber dem westlichen Teil des Bildungsraumes. Dort war die Torfbildung schon in vollem Gange, als im Osten erst die Voraussetzungen dafür geschaffen wurden, und sie ging dort noch weiter, als im Westen bereits das Meer transgredierte.

In den Pyritanreicherungen der oberen Flözteile zeichnet sich vermutlich ein erster Meeresvorstoß ab, der große Teile des Moores unter Wasser setzte, ohne die weitere Sedimentation von Pflanzenmaterial sofort zu beenden. Nach Jessen [2] läßt sich die Situation in der Saumtiefe etwa mit der Entwicklung der Ostsee in der Postglazialzeit vergleichen, die ebenfalls über eine oder mehrere Meerespforten mit dem offenen Ozean verbunden war und so je nach der Möglichkeit des Stoffaustausches ihren Salzgehalt häufig veränderte. Es hat den Anschein, als ob die Verbindung der karbonischen Saumtiefe mit dem Weltmeer ebenfalls im Westen gelegen hat. So konnten Ernst, Krejci-Graf und Werner [73] im marinen Domina-Niveau eine Abnahme der Bor-Gehalte nach Osten feststellen. Das kommt einer Abnahme der Salinität des Meerwassers in dieser Richtung gleich, womit sich wiederum ein Vergleich mit der Ostsee aufdrängt.

Das hangende Nebengestein

Gegen Ende der Torfablagerung scheint das Moor soweit landeinwärts überflutet gewesen zu sein, daß beim weiteren Sinken des Untergrundes nur noch sehr feinklastisches Material in die Saumtiefe verfrachtet wurde. Jessen [2] spricht daher von einer sedimentologischen „Unterernährung" und gibt zu bedenken, daß bereits „während der Ablagerung der untersten Dezimeter Schieferton eine genügend lange Zeit vergangen sein (kann), daß schon dicht überm Flöz echte Lebensmöglichkeiten für marine Tiere zustande kamen". Auf diese Weise läßt sich das Auftreten einer marinen Makrofauna unmittelbar über dem Flöz von Friedrich Heinrich erklären, während sie bei Grillo 1/2 erst 80 cm über dem Flöz erscheint, so daß hier in der gleichen Zeitspanne wegen der größeren Nähe des Abtragungsgebietes mehr Sedimentmaterial zur Ablagerung kam.

Wie aus den vorher genannten Erwägungen ferner anzunehmen ist, hat die Verbindung zum offenen Meer im Westen gelegen. Im Zuge der allgemeinen Absenkung wurde sie verbreitert, so daß im erhöhten Maße Salzwasser in die Saumtiefe einströmen konnte. Im Zusammenhang damit wanderte von Westen her die marine Fauna in die Senke ein, und es ist denkbar, daß sie entsprechend der allmählichen Erhöhung des Salzgehaltes im Osten des Sedimentationsraumes mit einer zeitlichen Verschiebung eintraf. Dies könnte erklären, daß bei Grillo 1/2 in einem brackischen Milieu noch Faulschlamm gebildet wurde, als bereits im westlichen und mittleren Teil des Ablagerungsraumes eine marine Fazies herrschte mit einem allerdings nicht besonders hohen Salzgehalt.

Zur Frage der marinen Beeinflussung

Von den Ergebnissen der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen scheinen folgende für das Problem der marinen Beeinflussung der Kohlenbildung beachtenswert:

1. Der hangende Schieferton der Proben Friedrich Heinrich (dort wurde auch eine Dolomitknolle gefunden) und Prosper II enthält marine Fossilien. Die Faunenführung setzt unmittelbar über dem Flöz ein. In der Probe Grillo 1/2 sprechen Funde von Fischzähnen, Muscheln, Conodonten und Foraminiferen für bereits im oberen Flözteil beginnende Brackwassereinflüsse. Marine Makrofossilien treten erst 80 cm über dem Flöz auf.

2. Die Kohlenproben weisen in der Elementarzusammensetzung ein Verhältnis von H/C zu O/C auf, wie es sonst nur reinem Vitrinit zukommt (s. Abb. 2). Bei der Probe Grillo 1/2 liegen die Werte sogar zwischen Vitrinit und Exinit. Wenn man berücksichtigt, daß die Proben Friedrich Heinrich und Prosper II erheblich mehr Inertinit als Exinit enthalten, wodurch eine Verschiebung der Werte in Richtung auf den Fusinitbereich erwartet werden müßte, so kann der ziemlich hohe Wasserstoffgehalt nur auf ein überwiegend anaerobes Bildungsmilieu hinweisen. Die Lage der Werte für Grillo 1/2 über dem Vitrinitband erklärt sich aus dem Zurücktreten von Inertinit, was bereits für das Vorherrschen anaerober Verhältnisse, vermutlich unter Stillwasserbedingungen, wahrscheinlich macht. Eine zusätzliche Erhöhung des Wasserstoffgehaltes wird durch die verstärkte Exinitführung zum Ausdruck gebracht.

3. Im Zusammenhang mit Fragen der marinen Beeinflussung sind häufig die Sporenarmut des Katharina-Clarites und seine auffällige Mikrinit- und Schwefelkiesführung genannt worden [15, 21]. Im großen und ganzen kann das bestätigt werden, doch muß man nach den vorliegenden Ergebnissen mit einer Verallgemeinerung vorsichtig sein. So liegen gerade in der Probe Friedrich Heinrich die Verhältnisse verwickelter, als es nach der von M. Teichmüller [74] durchgeführten Untersuchung der oberen 15 cm den Anschein hat. Man kann dort vom Liegenden bis zur Flözmitte eine allmähliche Abnahme des Sporen- und des Kutikulenanteils in den Clariten und Zwischenstufen beobachten, die auch darin zum Ausdruck kommt, daß der Gehalt an Sporinit und Kutinit von etwa 15 auf 2 % absinkt. Das Minimum der Sporen- und Kutikulenführung fällt mit dem während des Moorstadiums vermuteten Maximum der Senkungsgeschwindigkeit zusammen. Danach wechseln sporenreiche Clarite, Durite und Zwischenstufen mit sporenarmen ab. Die letztgenannten herrschen gegen Ende der Flözbildung wieder allein vor, wobei der Gehalt an Sporinit und Kutinit von 20 auf rd. 3 % fällt.

Im umgekehrten Verhältnis dazu steht der Mikrinitanteil. Er wird bis zur Mitte hin häufiger, geht dann zurück und steigt bis zur Flözoberkante wiederum an. In den quantitativen Analysen ist zwar feinkörniger und massiger Mikrinit zusammengefaßt worden, jedoch liegt dieser Betrachtung vor allem die Verteilung des feinkörnigen Mikrinits zugrunde. Nicht so klar, aber ähnlich liegen die Verhältnisse bei der Probe Prosper II. Wegen der schlechten Erkennbarkeit der Sporen muß man sich hier vor allem auf die Mikrinitverteilung stützen, die ähnlich wie bei Friedrich Heinrich verläuft. Bei Grillo 1/2 läßt sich ebenfalls nur in der Mikrinitführung eine schwache Anreicherung im unteren Drittel erkennen. Die Verteilung von Sporinit und Kutinit zeigt keine besonderen Merkmale. Nur in der Sapropelkohle gehen ihre Anteile stark zurück, während sich besonders der Gehalt an feinkörnigem Mikrinit erhöht.

In großen Zügen läuft der Abnahme der Sporinit- und Kutinitanteile eine zunehmende Korrosion vor allem der Makrosporen und Kutikulen parallel. Sie macht sich besonders in den Proben Friedrich Heinrich und Grillo 1/2 bemerkbar und scheint einen wesentlichen Anteil an der Verminderung des Gehaltes an Kutinit und Sporinit zu haben. Häufig beobachtet man damit im Zusammenhang Eisenspat- und Dolomitkonkretionen. Es hat den Anschein, daß diese Karbonatverbindungen für die Korrosion verantwortlich sind. Eine Bestätigung für diese Auffassung, die auch Stach und Michels [75] vertreten, gibt Pfaffenberg [76], der in rezenten alkalischen Torfen häufig zersetzte Pollenexinen und Kutikulen fand, während sie in sauren Torfen stets gut erhalten waren. Eine ebenfalls verbreitete Bleichung sowohl von normal ausgebildeten als auch von korrodierten Sporen und Kutikulen weist nach Taylor [77] ebenfalls auf alkalische Einflüsse hin. Angesichts der paläogeographischen Verhältnisse erscheint es naheliegend, den alkalischen Einfluß im Zusammenwirken mariner, lagunärer und

fluviatiler Elemente zu suchen. Es ist wahrscheinlich, daß die in der Mitte der Flözproben sich abzeichnende verstärkte Senkungsgeschwindigkeit zu einer vorübergehenden Überflutung mit Brackwasser geführt hat, wodurch der p_H-Wert in der Torfmudde erhöht wurde.

4. Der obere Teil der Probe Grillo 1/2 besteht aus einer claritischen Kennelkohle. In den unteren Zentimetern dieser Sapropelbildung stellen Mikrosporen die Hauptmasse des Exinits dar, später treten sie an Menge stark zurück, so daß über einer Pyritlage der Exinitanteil fast nur noch aus unfiguriertem Bitumen besteht. Im Zusammenhang damit treten Siderit- und Phosphoritkonkretionen auf. An Fossilien wurden Fischzähne, Foraminiferen und Conodonten neben anderen zerbrochenen Schalen- oder Skelettresten gefunden. Die Flözoberkante ist zwar nicht sehr stark begrenzt, da in den oberen Zentimetern des Faulschlammes der Tongehalt ständig zunimmt und in einen geschichten Schieferton übergeht, in dem marine, nichtmarine und brackische Faunenelemente vorkommen.

5. Die Flözproben zeichnen sich durch einen hohen Gehalt an syngenetischem Schwefelkies aus. Allein aus dieser Tatsache kann jedoch nicht auf eine marine Beeinflussung des Torfes geschlossen werden, da auch Kohlen aus limnischen Becken zum Teil sehr stark Pyrit führen. Aus den Untersuchungen ergibt sich, daß er an relativ hohe Collinitgehalte gebunden ist. Ein Zusammenhang mit der zunehmenden Einflußnahme des Meeres scheint dadurch gegeben zu sein, daß durch die Überflutung des Moores streng anaerobe Verhältnisse im Sedimentationsraum eintraten, wodurch die Voraussetzung für eine solch starke Pyritanreicherung in den oberen Flözteilen geschaffen wurde.

6. Wie ein Vergleich der in den Schiefertonproben enthaltenen Tonminerale mit den Toneinlagerungen der Kohlenproben erkennen läßt, ist das Illit-Kaolinit-Verhältnis im hangenden Nebengestein mit Beträgen von 3,42, 3,89 und 4,12 ziemlich konstant. In den Kohlenproben schwanken die Quotienten mit Werten zwischen 0,025 (Friedrich Heinrich) und 39,0 (Sapropelkohle von Grillo 1/2) erheblich stärker. Die Werte für die Proben Prosper II und Grillo 1/2 (Humuskohle) liegen mit 1,54 und 2,51 unter den Quotienten des Schiefertones. Bei der Besprechung der Tonminerale ist bereits darauf hingewiesen worden, daß der Einfluß humoser Substanzen auf ihre Bildung noch zu wenig geklärt ist und endgültige Rückschlüsse aus der Verteilung der Tonminerale für die Moorfazies noch nicht zuläßt. Dennoch darf wohl mit einiger Vorsicht angenommen werden, daß größere Anreicherungen von Illit auch in der Kohle marine oder brackische Einflüsse andeuten könnten.

Die Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß das Flöz Katharina aus einem Flachmoortorf entstand, der auf einer Küstenebene gebildet wurde, die wenigstens teilweise in der Einflußzone des vorgelagerten Binnenmeeres lag. Es ist mindestens mit einem vorübergehenden Meeresvorstoß während des Moorstadiums zu rechnen, und es kann als sicher gelten, daß noch vor dem Ende der Torfablagerung Teile des Moores in den Bereich brackischen Wassers kamen.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Ergebnisse einer eingehenden kohlenpetrographischen Untersuchung dreier Proben des Flözes Katharina werden besprochen. Zur besseren Erfassung genetischer Besonderheiten dienten die makroskopisch unterschiedenen Einheiten der Lithotypen als Grundlage für die mikroskopischen Analysen. Außerdem wurden Mazeralanalysen an Flözproben in größerem Umfang ausgeführt, wobei durch Anätzen eine für quantitative Analysen befriedigend reproduzierbare Unterscheidung von Collinit und Telinit erreicht wurde. Die sich daraus für die Genese der einzelnen Mazerale ergebenden Gesichtspunkte werden eingehend behandelt.

Eine besondere Beachtung findet die genaue Erfassung des Mineralgehaltes der Kohle, der dem des hangenden Nebengesteins gegenübergestellt ist. Die syngenetisch gebildeten Minerale wurden, soweit möglich, in den Anschliffen getrennt ausgezählt. Gewisse Gesetzmäßigkeiten zwischen der Mineral- und der Mazeralverteilung sind feststellbar.

Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen den Schluß zu, daß das Flöz Katharina am Küstensaum eines Binnenmeeres gebildet worden ist. Für Anfang und Ende der Torfentstehung kann eine zeitliche Verzögerung in östlicher Richtung als wahrscheinlich angesehen werden. Eine Überflutung des Moores mit Salzwasser wird etwa in der Mitte und am Ende der Torfbildungsperiode angenommen.

Die Untersuchungen können nur ein sehr grobes Bild von den möglichen faziellen Verhältnissen geben, die zur Bildung des Flözes Katharina geführt haben. Um mit größerer Sicherheit die Entstehungsbedingungen kennzeichnen zu können, müßte man ein dichtes Netz von Untersuchungspunkten über den Ablagerungsraum legen. Für die Frage nach der marinen Beeinflussung erscheint nach den vorliegenden Ergebnissen die Untersuchung einer Reihe von Flözschnitten, die fortlaufend von Südosten nach Nordwesten, d. h. quer zum Streichen des Gebirges, angelegt werden, besonders aufschlußreich.

Schrifttum

1. Köring, C.: Stratigraphische und lithogenetische Studien der unteren Gaskohle von Flöz Katharina bis Flöz Laura der Essener Mulde. Diss. Köln 1932.
2. Jessen, W.: Das Ruhrkarbon (Namur C ob. — Westfal C) als Beispiel für extratellurisch verursachte Zyklizitätserscheinungen. Geol. Jb. 71 (1955/56) S. 1/19.
3. Teichmüller, R.: Über Küstenmoore der Gegenwart und Moore des Ruhrkarbons. Geol. Jb. 71 (1955/56) S. 197 bis 219.
4. Gothan, W., und H. Weyland: Lehrbuch der Paläobotanik. Berlin: Akademie-Verlag 1954.
5. Mägdefrau, K.: Paläobiologie der Pflanzen. 2. Aufl. Jena: G. Fischer 1953.
6. Potonié, R.: Methoden zur Paläontologie und Stratigraphie der Sporae dispersae. Paläont. Z. 34 (1960) S. 17/26.
7. Potonié, H.: Die rezenten Kaustobiolithe. Bd. 1—3. Abh. Kgl. Preuß. Geol. L. A. N. F. 55 (1908/12).
8. Hoffmann, E.: Neue Erkenntnisse über die Vorgänge der Flözbildung. Bergbau 46 (1933) S. 89/94.

9. Kivinen, E.: Über die Moore Finnlands und ihre Nutzung. Wasser u. Boden 12 (1960) S. 2/6.

10. Machatschek, F.: Geomorphologie. 5. Aufl. Leipzig: B. G. Teubner 1954.

11. Jessen, W., G. Kremp und P. Michelau: Gesteinsrhythmen und Faunenzyklen des Ruhrkarbons und ihre Ursachen. In: Compte rendu. 3. Congrès pour l'avancement des études de stratigr. et de géol. du carbonifère, Heerlen 1951. T. 1. Maestricht 1952. S. 289/94.

12. Mackowsky, M. Th.: Neuere Anschauungen über den Inkohlungsvorgang. Fortschr. Mineralogie 28 (1949) S. 38/46.

13. Mackowsky, M. Th.: Probleme der Inkohlung. Brennst.-Chem. 34 (1953) S. 182/85.

14. Mackowsky, M. Th.: Der Sedimentationsrhythmus der Kohlenflöze. N. Jb. Geol. Paläont., Mh. (1955) S. 438/49.

15. Teichmüller, M.: Bemerkungen zu Torfuntersuchungen im Wurzacher Ried im Hinblick auf kohlengenetische Fragen. Geol. Jb. 68 (1953/54) S. 471/77.

16. Süss, M.: Zur Petrographie des Xylites. Freib. Forsch.-H., Reihe A 148 (1959) S. 14/33.

17. Bogoljubova, L. J.: Über petrographische und chemische Eigenschaften einiger Braunkohlenbestandteile. (Original in russischer Sprache.) Izvest. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geol. 11 (1959) S. 44/51.

18. Teichmüller, M.: Vortrag, gehalten am 5. 6. 1959 auf der 19. Sitzung der Kohlenpetrographischen Arbeitsgemeinschaft in Essen.

19. Petraschek, W.: Kohlengeologie der österreichischen Teilstaaten. T. 1. 2. Wien, Kattowitz 1922/24—1926/29.

20. Teichmüller, M., und R. Teichmüller: Die stoffliche und strukturelle Metamorphose der Kohle. Geol. Rdsch. 42 (1954) S. 265/96.

21. Teichmüller, M.: Vergleichende mikroskopische Untersuchungen versteinerter Torfe des Ruhrkarbons und der daraus entstandenen Steinkohlen. In: Compte rendu. 3. Congrès pour l'avancement des études de stratigr. et de géol. du carbonifère, Heerlen 1951. T. 2. Maestricht 1952. S. 607/13.

22. Dahme, A., und M. Th. Mackowsky: Chemisch-physikalische und petrographische Untersuchungen an Kohlen, Koksen und Graphiten. 4. Neues Meßverfahren zur Bestimmung des Reflexionsvermögens von Kohlen. Brennst.-Chem. 31 (1950) S. 129/38.

23. Juranek, G.: Kritische Betrachtung kohlenpetrographischer Untersuchungsmethoden und ihre Anwendbarkeit für paläogeographische Fragen. Diss. Münster 1957.

24. Laboratoriumsvorschriften für den Steinkohlenbergbau. Hrsg. vom Chemikerausschuß beim Steinkohlenbergbauverein. Essen: Verlag Glückauf 1951—1958.

25. Internationales kohlenpetrographisches Wörterbuch. Ausg. 1957. Zu bez. in franz., deutsch. und engl. Sprache beim Centre national de la recherche scientifique, Paris.

26. Kötter, K.: Vereinfachung der kohlenpetrographischen Analyse nach Mikrolithotypen durch Anwendung eines „20-Punkte-Okulars". Brennst.-Chem. 40 (1959) S. 305/09.

27. Kötter, K.: Die mikroskopische Reflexionsmessung mit dem Photomultiplier und ihre Anwendung auf die Kohlenuntersuchung. Brennst.-Chem. 41 (1960) S. 263/72.

28. Krevelen, D. W. van, und J. Schuyer: Coal Science. Amsterdam, London, New York, Princeton: Elsevier 1957.

29. Richtlinien und Vorschläge zur Anlegung des Flözarchivs für den Steinkohlenbergbau. Essen: Verlag Glückauf 1953.

30. Bergmännisches Rißwerk. Richtlinien für Herstellung und Ausgestaltung. Hrsg. vom Fachnormenausschuß Bergbau im Deutschen Normenausschuß. Deutsche Kohlenbergbau-Leitung. Essen 1951.

31. Atlas für die angewandte Steinkohlenpetrographie. Essen: Verlag Glückauf 1951.

32. Teichmüller, M.: Der Feinbau amerikanischer Kohlen im Anschliff und Dünnschliff. Jahrb. Reichsanst. f. Bodenforschg. 61 (1940).

33. Teichmüller, M.: Zum petrographischen Aufbau und Werdegang der Weichbraunkohle. Geol. Jb. 64 (1943/48) S. 429/88.

34. Raistrick, A., und C. E. Marshall: The nature and origin of coal and coal seams. London: English Universities Press 1952.

35. Stach, E.: Der Collinit der Steinkohlen. Geol. Jb. 74 (1957) S. 39/61.

36. Stach, E.: Sklerotien in der Kohle. Glückauf 70 (1934) S. 297/304.

37. Stach, E.: Heutiger Stand der genetischen Deutung der Kohlengefügebestandteile. In: Compte rendu. 3. Congrès pour l'avancement des études de stratigr. et de géol. du carbonifère, Heerlen 1951. T. 2. Maestricht 1952. S. 585/90.

38. Stach, E., und W. Pickhardt: Pilzreste (Sklerotinit) in paläozoischen Steinkohlen. Paläont. Z. 31 (1957) S. 139 bis 162.

39. Schätzer, L.: Keramik. Roh- und Werkstoffe, Prüfmethoden. Berlin: Verlag Technik 1954.

40. Pollmann, S.: Eine verbesserte Präparationsmethode zur röntgenographischen Untersuchung blättchenförmiger Tonminerale. N. Jb. Min., Mh. 1960 S. 111/15.

41. Jasmund, K.: Die silikatischen Tonminerale. 2. Aufl. Weinheim: Verlag Chemie 1955. (Monographien zu „Angewandte Chemie" und „Chemieingenieurtechnik" Nr. 60.)

42. Grimm, R. E.: Clay Mineralogy. New York, Toronto, London: McGraw-Hill 1953.

43. Ruchin, L. B.: Grundzüge der Lithologie. Übers. aus dem Russ. Berlin: Akademie-Verlag 1958.

44. Kirsch, H., und K. Stratmann: Löslichkeitsuntersuchungen an getemperten Tonmineralen und Schiefertonen. Tonindust.-Z. 83 (1959) S. 426/29.

45. Tröger, W. E.: Tabellen zur optischen Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Stuttgart: Schweitzerbart 1952.

46. Teichmüller, R.: Sedimentation und Setzung im Ruhrkarbon. N. Jb. Geol. Paläont., Mh. 1955 S. 146/68.

47. Aldermann, A. R., und H. C. W. Skinner: Dolomite sedimentation in the South-East of South Australia. Amer. J. Sci. 1957 S. 561/67.

48. Hoehne, K.: Bildungsweise der körnigen Quarzlage des Flözes Ida (Westfal A) der mittleren Fettkohlengruppe Westfalens. Glückauf 85 (1949) S. 661/76.

49. Teichmüller, M., R. Teichmüller und H. Werner: Ein echter Torfdolomit in einem Flöz der mittleren Bochumer Schichten und die Frage nach der Herkunft der Karbonate im Ruhrkarbon. Geol. Jb. 68 (1953/54) S. 141/53.

50. Eckhardt, F.-J., und H. R. von Gaertner: Über Dolomite aus den Sedimenten des Ruhrkarbons. Geol. Jb. 71 (1955/56) S. 427/31.

51. Werner, H.: Uber dolomitisches Bindemittel in den Sedimenten des Ruhrkarbons. Geol. Jb. 71 (1955/56) S. 423/26.

52. Mikroskopie der Gesteine. Handbuch der Mikroskopie in der Technik. Bd. 4, T. 1. Frankfurt a. M.: Umschau-Verlag 1955.

53. Hoehne, K.: Zur Ausbildung und Genese der Kohlentonsteine im Ruhrkarbon. Chem. d. Erde 17 (1954/55) S. 6/28.

54. Hoehne, K.: Grundsätzliche Erkenntnisse über die Tonsteinbildung in Kohlenflözen und neue Tonsteinvorkommen in Ost-USA, Westkanada und Nordmexiko. Geologie 8 (1959) S. 280/302.

55. Fiebig, H.: Bemerkenswerte Beobachtungen bei der Aufnahme des neuen Richtschichtenschnittes der Bochumer (Fettkohlen-)Schichten auf der Zeche Ver. Bonifacius. Mitt. Westf. Berggew.-Kasse 12 (1957) S. 13/36.

56. Goldschmidt, V. M.: Geochemistry. Oxford: Clarendon Press 1954.

57. Pettijohn, F. J.: Sedimentary Rocks. New York: Harper 1949.

58. Carozzi, A. V.: Microscopic Sedimentary Petrography. New York, London: J. Wiley 1960.

59. Stach, E.: Das Vorkommen von Metallen in der Steinkohle. Mikroskopie 4 (1949) S. 321/29.

60. Schneiderhöhn, H.: Erzlagerstätten. 3. Aufl. Jena: G. Fischer 1955.

61. Mackowsky, M. Th.: Mikroskopische Untersuchungen über die anorganischen Bestandteile in der Kohle und ihre Bedeutung für Kohlenaufbereitung und Kohlenveredlung. Arch. bergbaul. Forsch. 4 (1943) Nr. 1 S. 1/16.

62. Mackowsky, M. Th.: Möglichkeiten zur Kennzeichnung der Mineralverteilung in Kohlen. Proc. Int. Com. Coal Petrology 2 (1956) S. 31/38.

63. Bartenstein, H.: Mikrofaunistische Gliederungsversuche im Ruhrkarbon. Glückauf 81/84 (1948) S. 429/33.

64. Degens, E.: Geochemische Untersuchungen zur Faziesbestimmung im Ruhrkarbon und im Saarkarbon. Glückauf 94 (1958) S. 513/20.

65. Fiebig, H.: Die Ergebnisse einer feinstratigraphisch-faziellen Untersuchung der oberen Bochumer Schichten (oberes Westphal A) am linken Niederrhein. Geol. Jb. 71 (1955/56) S. 171/74.

66. Fiebig, H.: Der neue Richtschichtenschnitt für die Bochumer (Fettkohlen-)Schichten im niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebiet. Glückauf 93 (1957) S. 446/53.

67. Hahne, C.: Das Katharina-Niveau im Gebiete des linken Niederrheins. Glückauf 74 (1958) S. 802.

68. Hahne: Auffindung des Katharina-Niveaus auf der Zeche Sophia-Jacoba bei Erkelenz. Glückauf 90 (1954) S. 126/27.

69. Hahne, C.: Die Essener Schichten im westlichen und mittleren niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebiet und die Gleichstellung und einheitliche Benennung ihrer Flöze. Glückauf 92 (1956) S. 717/22.

70. Oberste-Brink, K., und R. Bärtling: Die Gliederung des Karbonprofils und die einheitliche Flözbenennung im Ruhrkohlenbecken. Glückauf 66 (1930) S. 889/93, 922/33.

71. Rabitz, A.: Flözgleichstellung in den Essener Schichten nördlich Bochum und Dortmund. Geol. Jb. 73 (1957) S. 389/456.

72. Schwarzbach, M.: Marine und nichtmarine Schichten in den paralischen Kohlenbecken. Glückauf 85 (1949) S. 417/20.

73. Ernst, W., K. Krejci-Graf und H. Werner: Parallelisierung von Leithorizonten im Ruhrkarbon mit Hilfe des Bor-Gehaltes. Geochim. cosmochim. Acta 14 (1958) S. 211/22.

74. Teichmüller, M.: Anzeichen mariner Beeinflussung bei der Kohle aus Flöz Katharina der Zeche Friedrich Heinrich. N. Jb. Geol. Paläont., Mh. 1955 S. 193/201.

75. Stach, E., und H.-Ch. Michels: Reflexionsmessungen an Kohlenanschliffen mit dem Berek-Mikrophotometer, insbesondere am Exinit der Ruhrkohlenflöze. Geol. Jb. 71 (1955/56) S. 113/43.

76. Pfaffenberg, K.: Das Wurzacher Ried. Eine stratigraphische und paläobotanische Untersuchung. Geol. Jb. 68 (1953/54) S. 479/500.

77. Taylor, G. H.: Mündl. Mitteilung, Juni 1960.

78. Gothan, W.: Die merkwürdigen pflanzengeographischen Besonderheiten in den mitteleuropäischen Karbonfloren. Palaeontographica 91 (1951) S. 109/30.

79. Brelie, C. von der: Die Küstentorfe Ostfrieslands und ihre marine Beeinflussung. N. Jb. Geol. Paläont., Mh. 1955 S. 201/17.